



ABASTECIMIENTO AL PUNTO DE PRODUCCIÓN EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Daniel Sosa Álvarez

Código

201428785

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

CALI 2022

ABASTECIMIENTO AL PUNTO DE PRODUCCIÓN EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Daniel Sosa Álvarez

Código

201428785

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Directora:

Sandra Liliana Cano Moya, M.Sc, Ph.D.

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

CALI 2022

TABLA DE CONTENIDO

<i>Nota de Aceptación</i>	v
RESUMEN	I
ABSTRACT	I
CAPÍTULO I	2
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.3 FORMULACIÓN.....	7
1.4 JUSTIFICACIÓN	7
1.5 OBJETIVOS.....	9
1.5.1 <i>Objetivo General</i>	9
1.5.2 <i>Objetivos Específicos</i>	9
1.6 ALCANCE DEL TRABAJO.....	9
1.7 MARCO TEÓRICO	10
1.7.1 <i>Sistema de abastecimiento</i>	10
1.7.2 <i>Logística</i>	10
1.7.2.1 Logística de sitio	11
1.7.2.2 Cadena de suministro	11
1.7.3 <i>Proceso</i>	11
1.7.4 <i>Operación</i>	14
1.8 METODOLOGÍA	14
CAPÍTULO II	16
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE ABASTECIMIENTO EXISTENTES EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO EN UNA EDIFICACIÓN.	16
2.1.1 <i>Contexto</i>	16
2.1.2 <i>Componentes – Recursos</i>	17
2.1.3 <i>Actores - Áreas del Sistema</i>	18
2.1.4 <i>Operaciones logísticas</i>	19
2.1.5 <i>Problemas encontrados en el sector de la construcción</i>	25
2.1.6 <i>Resultados de la caracterización</i>	30
2.2 SELECCIÓN DE UNA ACTIVIDAD CRÍTICA DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.....	34
CAPITULO III	37
3.1. OPERACIONES CONSTRUCTIVAS	38
3.1.1. CIMBRADO	39
3.1.2. ARMADO DE ACERO	39
3.1.3. INSTALACIONES (ELÉCTRICAS, DE GAS, HIDROSANITARIAS Y DEMÁS SERVICIOS)	40
3.1.4. ENCOFRADO.....	40
3.1.5. FUNDICIÓN	40
3.1.6. DESENCOFRADO.....	41
3.3 OPERACIONES DE ABASTECIMIENTO	41

3.4	PROBLEMAS ENCONTRADOS.....	43
CAPITULO IV		54
4.1.	ESTRUCTURACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	54
4.1.1	<i>Planificación de la logística</i>	57
4.1.1.1	Herramientas de gestión.....	58
4.1.2	<i>Planificación de los materiales</i>	68
4.1.3	<i>Requisición de materiales</i>	71
4.1.4	<i>Realización de compras</i>	72
4.1.5	<i>Recepción de materiales</i>	72
4.1.6	<i>Almacenamiento</i>	72
4.1.7	<i>Solicitud de materiales</i>	73
4.1.8	<i>Realización de entregas</i>	74
4.1.9	<i>Distribución</i>	74
4.1.10	<i>Comunicaciones</i>	74
4.1.11	<i>Verificación, seguimiento y acciones correctivas</i>	78
4.2	METODOLOGÍA	79
5.	CONCLUSIONES	85
6.	REFERENCIAS.....	90
7.	GLOSARIO.....	95
7.1	SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	95
7.1.1	<i>Sistema Constructivo Industrializado</i>	95
7.1.2	<i>Sistema Constructivo semi Industrializado</i>	95
7.1.3	<i>Punto de producción</i>	95
7.2	FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION (LC).....	96
7.2.1	<i>Productividad</i>	96
7.2.2	<i>Herramientas</i>	96
7.2.2.1	Justo a tiempo (Just-in-time).....	96
7.2.2.2	Sistema <i>pull</i>	97
7.2.2.3	Sistema <i>push</i>	97
7.2.2.4	Sistema del último planificador (<i>Last Planner System</i>)	97
7.2.2.5	Layout de obra	98
7.2.2.6	Diagrama de Ishikawa o espina de pescado.....	98
8.	ANEXOS	102
A.1.	ENTREVISTAS REALIZADAS.....	102
A.2.	MATRICES DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE LOGÍSTICA Y ABASTECIMIENTO	106
A.3.	PROBLEMAS ASOCIADOS A LAS OPERACIONES DE LOGÍSTICA Y ABASTECIMIENTO	114
A.4.	MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN GENERAL	121
A.5.	MATRIZ DE VESTER	123
A.6.	MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE PLANIFICACIÓN DE LOGÍSTICA Y MATERIALES	127

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. ESQUEMA DE LOGÍSTICA INTERNA	4
FIGURA 1.2. NUEVO MODELO DE CONSTRUCCIÓN DE LOGÍSTICA EN SITIO. ADAPTADO DE:(SEPPÄNEN Y PELTOKORPI, 2016).....	5
FIGURA 1.3. ESQUEMA DE LOS ELEMENTOS DE UN PROCESO.....	11
FIGURA 1.4. ESQUEMA DIAGRAMA SIPOC	12
FIGURA 1.5. CICLO PHVA APLICADO AL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD.	13
FIGURA 1.6. ESQUEMA GENERAL DE LA PROGRAMACIÓN DEL TG	15
FIGURA 2.1. DIAGRAMA CAUSA – RAÍZ DE LOS PROBLEMAS DE LAS OPERACIONES LOGÍSTICAS.....	29
FIGURA 2.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	30
FIGURA 2.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ÁREAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL, Y COMPRAS.....	31
FIGURA 2.4. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ÁREAS DE COMPRAS, ALMACENAMIENTO Y PRODUCCIÓN.....	32
FIGURA 2.5. PORCENTAJE POR CAPÍTULO EN LOS COSTOS DIRECTOS EN LA OBRA DE LA CONSTRUCTORA TG.....	35
FIGURA 2.6. PORCENTAJES DE LOS COSTOS DIRECTOS DE LA OBRA DE LA CONSTRUCTORA TG.....	36
FIGURA 2.7. PORCENTAJES DE LOS COSTOS DIRECTOS DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DE LA OBRA DE LA CONSTRUCTORA TG.....	37
FIGURA 3.1. SECUENCIA DE OPERACIONES CONSTRUCTIVAS.....	39
FIGURA 3.2. SECUENCIA DE OPERACIONES DE ABASTECIMIENTO.....	42
FIGURA 3.3. LAYOUT DE OBRA.....	44
FIGURA 3.4. ORTOMOSAICO.....	45
FIGURA 3.5. SUPERPOSICIÓN DE LAYOUT SOBRE ORTOMOSAICO.....	46
FIGURA 3.6. ALMACENAMIENTO DE ACERO.....	46
FIGURA 3.7. ALMACENAMIENTO VERTICAL DE MALLAS.....	47
FIGURA 3.8. ALMACENAMIENTO HORIZONTAL.....	47
FIGURA 3.9. INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO DE ACERO.....	48
FIGURA 3.10. DESORDEN EN LA UBICACIÓN DE MATERIALES	50
FIGURA 3.11. ESTUDIO DE PÉRDIDAS.....	51
FIGURA 3.12. DISTRIBUCIÓN DE ACTIVIDADES DESPERDICIADORAS EN EL ARMADO DE ACERO.....	52
FIGURA 3.13. DISTRIBUCIÓN DE TRABAJO NO CONTRIBUTIVO ENCOFRADO	52
FIGURA 4.1. ESQUEMA PROPUESTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	56
FIGURA 4.2. INTERCEPTO ENTRE EL ÁREA DE PRODUCCIÓN Y ÁREA DE LOGÍSTICA	57
FIGURA 7.1. PROCESO DE PLANIFICACIÓN LAST PLANNER.....	98

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1. RELACIÓN ÁREA – OPERACIONES	19
TABLA 2.2. PROBLEMAS POR PRIORIZAR	33
TABLA 3.1. MATRIZ DE OPERACIONES DE ABASTECIMIENTO	42
TABLA 4.1. INDICADORES POR ÁREA	67
TABLA 4.2. MATRIZ DE COMUNICACIÓN	75
TABLA A.2. 1. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA.	106
TABLA A.2. 2. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE REALIZACIÓN DE COMPRAS	107
TABLA A.2. 3. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE REQUISICIÓN DE MATERIALES.....	108
TABLA A.2. 4. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECEPCIÓN DE MATERIALES.....	109
TABLA A.2. 5. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ALMACENAMIENTO	110
TABLA A.2. 6. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE SOLICITUD DE MATERIALES	111
TABLA A.2. 7. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE REALIZACIÓN DE ENTREGAS.....	112
TABLA A.2. 8. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN	113
TABLA A.3. 1. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA	114
TABLA A.3.2. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO REALIZACIÓN DE COMPRAS	115
TABLA A.3.3. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO REQUISICIÓN DE MATERIALES	115
TABLA A.3.4. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO RECEPCIÓN DE MATERIALES	116
TABLA A.3.5. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO ALMACENAMIENTO	116
TABLA A.3.6. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO SOLICITUD DE MATERIALES	117
TABLA A.3.7. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO REALIZACIÓN DE ENTREGAS.....	117
TABLA A.3.8. PROBLEMAS ASOCIADOS AL PROCESO DISTRIBUCIÓN	118
TABLA A.3.9. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA COMUNICACIÓN	119
TABLA A.3.10. PROBLEMAS ASOCIADOS EN ACTIVIDADES DE VERIFICACIÓN, SEGUIMIENTO Y ACCIONES CORRECTIVAS	119
TABLA A.4.1. MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN GENERAL	121

Nota de Aceptación

Director

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su compañía, por darme la sabiduría y las fuerzas necesarias para cumplir con esta meta. A mis padres y hermanos por su apoyo y compañía, por creer en mí. No habría sido posible lograrlo sin su ayuda.

A la universidad del Valle, a los profesores y a mi directora de trabajo de grado, por motivarme a dar lo mejor de mí para culminar esta etapa con éxito y por formarme como un profesional competente.

A todos mis amigos y compañeros, junto a los cuales compartimos la experiencia de este proceso, en especial, a Laura Valero, una gran persona y amiga que me brindó su apoyo y lealtad en todo momento.

Daniel Sosa Álvarez

Resumen

El sector de la construcción está caracterizado por su baja productividad. Analizar las operaciones logísticas y desarrollar metodologías tomando en cuenta los puntos débiles encontrados en la ejecución de los proyectos, permitiría mejorar la eficiencia de los procesos constructivos. En el presente trabajo, se analizó la condición actual alrededor del abastecimiento al punto de producción de una obra de construcción, se caracterizó el sistema de operaciones logísticas y se identificaron los principales problemas asociados a través de levantamiento en obra y revisión de la literatura. Posteriormente, teniendo en cuenta factores como el presupuesto, el cronograma de obra y la repetitividad de las tareas en una obra de construcción, se seleccionó como actividad crítica la actividad de *muros en concreto reforzado* y se detallaron las operaciones constructivas para su desarrollo. Finalmente se formuló un plan logístico básico y se propuso una metodología de abastecimiento en función de esta actividad.

Palabras Clave: Abastecimiento al punto de producción, logística en la construcción, Muros en concreto reforzado, Operaciones logísticas.

Abstract

The construction sector is characterized by low productivity. Analyzing the logistics operations and developing methodologies considering the weak points found in the execution of the projects would improve the efficiency of the construction processes. This work analyses the current conditions of supply to the production point of a construction site, characterizes the logistics operations system and identifies the main associated problems through an on-site study and a bibliographic review. Subsequently, considering factors such as budget, construction schedule and the repetitiveness of tasks on a construction site, the activity of reinforced concrete walls was selected as a critical activity and the construction operations for its development were detailed. Finally, a basic logistics plan was formulated and a supply methodology for this activity was proposed.

Key Words: Point-of-production supply, construction logistics, reinforced concrete walls, logistics operations.

CAPÍTULO I

Problema de investigación

La ingeniería civil tiene por objetivo la planeación, construcción y operación de obras que satisfagan las necesidades de la población y mejoren su calidad de vida. Una de las áreas de investigación más importantes, es la construcción de edificaciones, donde es necesario que todos los actores que intervienen en el cumplimiento de los objetivos establecidos en la planificación del proyecto, estén sincronizados para obtener un buen rendimiento. Para ello, es indispensable llevar a cabo un proceso controlado y bien estructurado.

Sin embargo, el sector de la construcción tiene una baja productividad. Al otorgar alta importancia al área técnico-estructural, se le ha restado importancia al flujo de los recursos, y esto ha llevado a desarrollar los proyectos sin la planificación logística necesaria, conllevando a graves problemas al momento de la ejecución del proyecto, que terminan provocando pérdidas e ineficiencias en todo el sistema.

En este documento se presenta el trabajo de grado que tiene como objetivo desarrollar de una metodología de las operaciones y relaciones que configuran la logística básica de abastecimiento del punto de producción de una obra de construcción, haciendo uso de conceptos logísticos y herramientas Lean, con el fin de mejorar la productividad en el desarrollo de un proyecto de construcción.

Para ello se presentan cuatro capítulos. En el primero se detalla el problema de investigación y su contexto. En el segundo se presenta la caracterización de las operaciones de abastecimiento existentes en el proceso constructivo en una edificación y la selección de una actividad crítica de este proceso. En el tercer capítulo se analizan las operaciones constructivas en el desarrollo de la actividad seleccionada y finalmente, en el cuarto capítulo se estructura el plan de logística básico para el abastecimiento de insumos de la actividad crítica seleccionada.

1.1 Antecedentes

Actualmente la logística en la construcción está tomando importancia debido a la baja productividad del sector y a la incidencia que esto trae consigo para la industria.

A continuación, se mencionan algunos de los antecedentes que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del trabajo.

Bertelsen y Nielsen (1997) presentan un estudio en el cual analizan la logística en el proceso de construcción desde el punto de vista de los constructores, referenciándose en el método *Just in time*. Proponen el uso de herramientas como cronograma de entrega y hojas de detalle de pedidos para realizar entregas diarias

en los puntos de producción por medio de paquetes, de tal manera que se lleven al sitio solo los materiales necesarios para la ejecución de las actividades programadas. Implementaron lo anterior en algunas obras y encontraron que se redujo el consumo de materiales, aumentó la productividad y mejoró la calidad, esto les permitió concluir que estas herramientas son fuertes y eficientes. Fue posible reducir costos de logística de los procesos constructivos hasta en un 10%, pero, fue necesaria tanto la cooperación de todos los involucrados en la cadena de suministro como una buena gestión para mantener la rigurosidad en la implementación de las herramientas.

Botero Botero y Álvarez Villa (2003) presentan la identificación de pérdidas como punto de partida para mejorar el desempeño del sector, ya que es uno de los principios básicos de la filosofía *Lean Construction*. De acuerdo con los resultados que se presentaron en este estudio, en Colombia el 63% del tiempo laborado se utiliza en actividades no productivas, del cual el 49% se genera por esperas en los procesos. Esto muestra una clara falta de planificación de los procesos logísticos alrededor del punto de producción, representando un reto y una gran oportunidad de mejoramiento en el desempeño del sector.

Con base en los resultados, concluyen que es importante que las empresas del sector conviertan estas metodologías en una estrategia empresarial y continúen sumando esfuerzos para introducir el nuevo enfoque de gestión de la construcción en búsqueda de incrementar la productividad y la competitividad, ya que el enfoque tradicional de la gestión de las actividades en la construcción no permite cuantificar las pérdidas, desperdiciando las oportunidades de mejoramiento. También resaltan que se requieren mediciones en nuevos proyectos de construcción, con el fin de definir indicadores globales a nivel nacional. En una conferencia del 2020, el autor destaca que los resultados de esta investigación siguen siendo válidos, ya que actualmente se trabaja con métodos tradicionales, bajo condiciones similares.

Ghanem, Hamzeh, Seppänen, y Zankoul (2018) hacen una investigación enfocada en la logística aplicada a la construcción a nivel de sitio, ya que, este tema ha recibido poca atención en la literatura. Proponen agregar una nueva capa de control de producción y logística de construcción a nivel de sitio, debido a que se observa que el seguimiento se realiza durante toda la cadena de suministro, pero, se detiene una vez los materiales llegan a la obra olvidando que estos deben transportarse a los distintos puntos de producción y que las interacciones que surjan en estos movimientos pueden afectar la productividad de los trabajadores en el sitio, impactando sustancialmente el tiempo y el costo de los proyectos de construcción.

Esta investigación concluye que, si se trabaja bajo un enfoque push, generalmente se aumenta la producción, pero, se reduce la productividad de las cuadrillas. Además, plantean la hipótesis que bajo un enfoque pull, aumentaría la producción,

pero, contrario al sistema push, aumentaría la productividad. También que la aplicación de técnicas push para el reabastecimiento de material en los sitios de trabajo muestra efectos negativos en la productividad laboral, lo cual se puede evitar aplicando una logística de materiales justo a tiempo en los puntos de producción.

Campaña (2019) propone un diseño del modelo de servicio para un sistema de logística interna, aplicando conceptos y herramientas para gestionar el abastecimiento de los puntos de producción en función de mejorar la efectividad y eficiencia en la gestión de materiales en construcción de edificaciones. El autor hace énfasis en que un buen plan logístico es posible si la empresa cuenta con un buen proceso de planeación y control de obra, pero, que no es posible implementarlo si los altos mandos de la empresa no se interesan en el tema. Para la construcción de este plan de logística, se presentan herramientas como el cronograma de abastecimiento, layout, ruteo y secuenciación, que debe ir ligado a una planificación muy detallada. La comunicación y el flujo de información deben ser en dos sentidos de tal manera que haya una actualización y flujo de información en tiempo real. Junto a estas herramientas se proponen indicadores de monitoreo y control. En la Figura 1.1 se presenta un esquema donde se resume su propuesta.

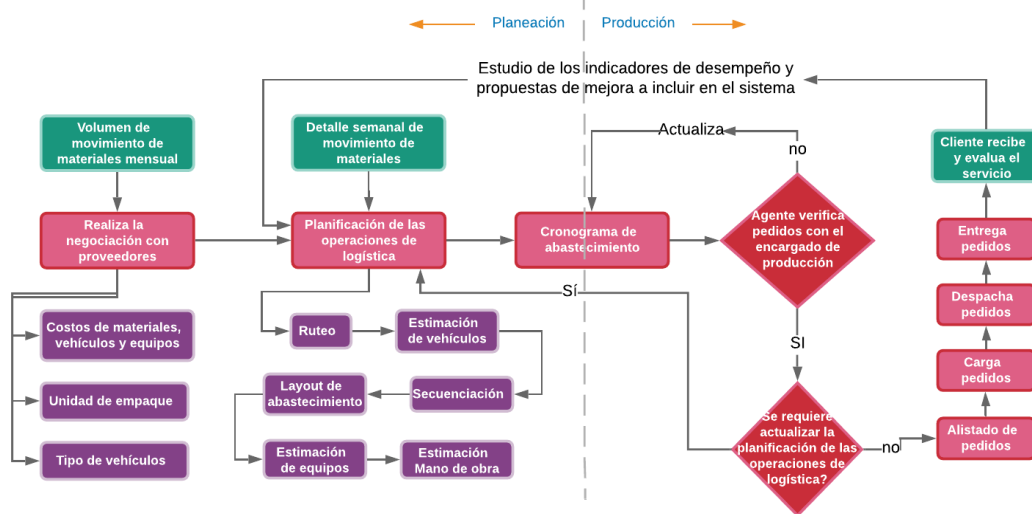


Figura 1.1. Esquema de logística interna
Fuente: (Campaña, 2019)

Seppänen y Peltokorpi (2016) realizan una revisión de problemas relacionados a la logística de sitio y encuentran que la mayoría de los artículos se centran en el impacto de la entrega en la confiabilidad del flujo de trabajo, por ejemplo, al clasificar la falta de materiales como la causa principal de la finalización fallida del plan.

Con base en diferentes formulaciones de problemas y soluciones logísticas, proponen el modelo de la Figura como guía de investigación, ya que la logística requiere un enfoque sistemático, para comprender como se ven afectadas las variables que intervienen en el proceso.

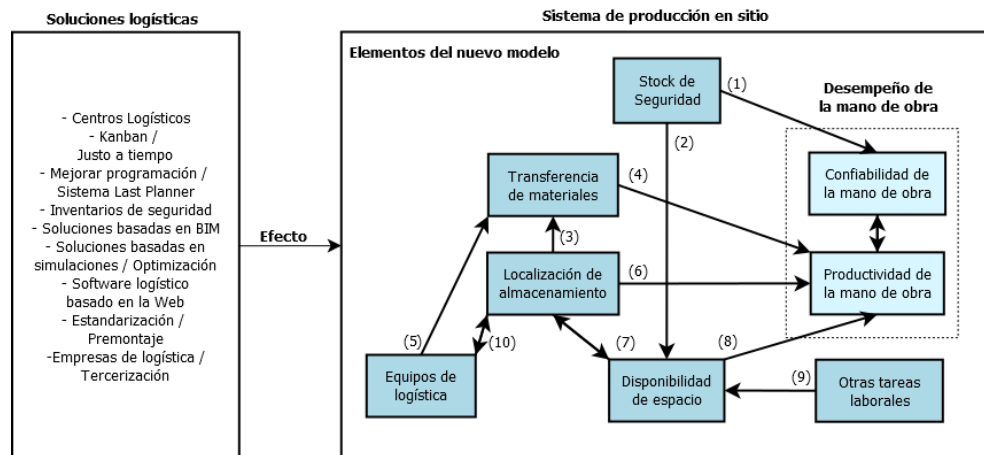


Figura1.2. Nuevo modelo de construcción de logística en sitio.
Adaptado de:(Seppänen y Peltokorpi, 2016)

De la Figura1.2, se puede anotar que la logística afecta la confiabilidad del flujo de trabajo y la productividad laboral, los cuales son indicadores claves del funcionamiento del sistema. Se presentan las interacciones entre los diferentes elementos del sistema. Las existencias de seguridad afectan la confiabilidad del flujo de trabajo, pero reducen la disponibilidad de espacio. El espacio disponible, también depende de la ubicación del almacenamiento y de otras tareas laborales, y afecta la productividad laboral. La ubicación del almacenamiento cercana al sitio de trabajo disminuye la necesidad de transferencia de material, lo que puede mejorar la productividad laboral, pero interfiere con la disponibilidad de espacio. Los equipos de logística deben estar conectados a la ubicación del almacenamiento, lo que afecta las necesidades de transferencia de materiales.

A pesar de la importancia del tema, no se sabe mucho sobre el impacto de la logística en el desempeño del sistema de producción, y la forma en la que afecta las variables involucradas. La investigación sobre la logística de la construcción ha estado muy fragmentada y se requiere un enfoque de investigación más sistemático para aumentar la comprensión de este importante tema.

Tetik, Peltokorpi, Seppänen, Viitanen, y Lehtovaara (2019) encontraron que, a pesar de haber desarrollado herramientas para mejorar el flujo de las operaciones de construcción, no se ha investigado a fondo el papel de la logística dentro de ésta, y es claro que cualquier herramienta que aumente la eficiencia del flujo, sin reducir la variación, implica que se deberían aumentar los recursos para poder mantener este flujo, lo que en práctica es difícil de garantizar.

Por esta razón, es indispensable reducir la variabilidad, la cual tiene causas notables como en el caso de la logística de materiales, puesto que las entregas inadecuadas de materiales provocan variaciones y desperdicios. Se le debe dar solución a esta

problemática para poder garantizar los resultados esperados mediante la aplicación de herramientas que mejoren el flujo de trabajo.

Los autores afirman que hay mejoras en la aplicación de herramientas al utilizar unidades específicas de ensamblaje y logística junto con la entrega JIT de kits e información integrada de diseño y producción. Se espera un ahorro en materiales de hasta un 20%, por lo que se reduce el desperdicio y los costos de adquisición, lo cual se refleja en un aumento de la productividad.

Para la implementación de este sistema, el proceso de diseño debe poder generar la lista de materiales por plano. Se debe contar con un centro logístico para la preparación de estos kits, este obtiene el cronograma de obra antes de la instalación, con tiempo suficiente para preparar los kits por parte de los trabajadores de logística y realizar las entregas en el momento y lugar oportuno.

1.2 Planteamiento del Problema

En la actualidad, se ven prácticas de modelos tradicionales que funcionan de manera intuitiva y son poco eficientes. La falta de planeación en la construcción también es un tema cultural, volviéndose común la improvisación. “Se ha observado que la etapa ejecutiva técnico-estructural se presenta como una prioridad en detrimento del área de gestión de suministros, que resulta en efectivos problemas ligados al nivel de servicio en el sector, dejando evidenciar la necesidad de buenas prácticas logísticas que puedan optimizar la utilización de los materiales en los procesos de trabajo” (Andrade Rezende, Barreto de Jesus y Araújo Moura, 2013)

Además, existe poca innovación en el sector de la construcción de edificaciones y es necesario considerar que la globalización de la economía y los avances tecnológicos hacen de la competitividad uno de los objetivos a perseguir por los sectores de la economía. “La innovación genera aumentos en la productividad y que, como se ha visto, es uno de los determinantes del nivel de competitividad en las empresas y en la economía en general” (Cámara Colombiana de la Construcción [CAMACOL], 2018). Sin una organización con procesos bien definidos se continuará presentando baja productividad. Esto conlleva a la necesidad de desarrollar técnicas y herramientas que mejoren el funcionamiento del sector y la logística de las actividades en la obra.

Una de las consecuencias que genera esta problemática, es el alto porcentaje de desperdicios, se puede evidenciar de acuerdo con investigaciones realizadas, que los desperdicios dentro del proceso de construcción representan del 30 al 35% de los costos de construcción (Josephson y Saukkoriipi, 2007) y que pueden llegar a representar hasta un 40%, esto debido a la logística ineficiente (Liu, Georgakis y Nwagboso, 2007). Además, el desperdicio en algunos materiales puede llegar a ser

muy alto, debido a la falta de control y de indicadores, esta tendencia permanece en el sector y no permite el mejoramiento en la eficiencia.

El aprovisionamiento al punto de producción es una actividad muy importante para el óptimo desempeño del sistema de producción, se puede decir que es un punto crítico ya que está justo después del almacén, punto de unión entre la logística externa e interna, y su adecuada ejecución incide en el flujo continuo para completar una unidad productiva, según Colque (2013) los trabajadores gastan aproximadamente un tercio del tiempo que pasan en obra buscando materiales, esta es una muestra de porqué se presenta el bajo nivel de productividad en el sector y cómo está asociado a actividades propias de logística en el aprovisionamiento de materiales.

Según Shehata y El-Gohary (2011) la clave para mejorar la productividad está en disminuir la variabilidad del flujo de trabajo, de tal manera que éste sea predecible y así hacer coincidir la carga de trabajo con la capacidad de trabajo, de acuerdo con esto, las causas de la variación en el flujo son responsables de disminuir la productividad y a través de la logística se pueden estudiar y mejorar los flujos.

Teniendo en cuenta el tradicionalismo y la improvisación que se presenta en la gestión de la ejecución de las actividades del sector de la construcción, que implica una baja productividad, se hace necesario realizar un análisis detallado del proceso de abastecimiento a los puntos de producción y sus operaciones, mediante las cuales se pueda caracterizar y proponer una metodología para mejorar la eficiencia en el proceso logístico de las actividades de construcción de una edificación.

1.3 Formulación

Comprendiendo la problemática, surge la necesidad de analizar el proceso logístico y las operaciones que se desarrollan en el sistema de producción de una obra de construcción, ya que se han evidenciado deficiencias en la organización de las actividades relacionadas a estos procesos. De aquí nace la pregunta de investigación:

¿Cómo abastecer eficientemente el punto de producción de una actividad en una obra de construcción?

1.4 Justificación

El sector de la construcción es uno de los más grandes de la economía mundial, su cadena de valor representa el 13% del Producto interno bruto (PIB) mundial, con aproximadamente \$ 10 billones gastados en bienes y servicios relacionados con la construcción cada año. Sin embargo, el crecimiento de la productividad en el sector de la construcción promedió 1% anual, más lento en comparación con la economía que tiene 2.8% y la industria manufacturera con 3.6%. De acuerdo con esto, hay

una oportunidad de mejora de \$1.6 billones para cerrar la brecha, lo que se podría lograr a través de una mayor productividad (McKinsey Global Institute, 2017).

Tomando en cuenta lo anterior y acercándonos al contexto nacional, las cosas no mejoran, según CAMACOL y McKinsey (2017) el sector de la construcción en Colombia está detrás tanto del nivel de productividad como de la tasa de crecimiento de la productividad versus el sector global de la construcción, pero aun así, es conocido que una manera de impulsar el desarrollo económico del país es invirtiendo en éste, un hecho que muestra lo significativo e importante que es en la economía del país por lo cual merece ser analizado a fondo para potenciar su productividad.

De acuerdo con el estudio realizado en 14 empresas del sector de la construcción, que representan cerca al 22% del mercado, el mayor rezago en adopción de mejores prácticas frente al nivel internacional se presenta en el módulo de tecnología, con un balance promedio de 14% frente al 48% internacional (CAMACOL, 2018), lo que indica que hay una oportunidad de mejorar la productividad a través de tecnologías que optimicen los procesos de construcción.

Con base en las encuestas realizadas por el instituto McKinsey (2017), los constructores internacionales creen que una de las causas clave de la baja productividad está en factores operacionales internos como, procesos de diseño inadecuados, pobre gerencia de proyecto y ejecución básica o falta de inversión por parte de la industria en digitalización, innovación y capital. Ante esto se concluye que estas causas se pueden convertir en oportunidades de optimizar la implementación de las mejores prácticas en función de mejorar la productividad del sector.

Como todos los sectores de la economía, el de la construcción se ha visto afectado por la llegada de la pandemia. Esto ha generado la necesidad de acelerar los procesos de transformación e innovación. Es aquí donde se presentan los retos y oportunidades para buscar herramientas que ayuden a mejorar la productividad, que es una de las líneas centrales de gestión que se han trazado desde el consejo gremial nacional, (CAMACOL, 2020).

Ahora es el momento en el cual todos los sectores han cambiado la manera de hacer las cosas, esto presenta una gran oportunidad frente a la innovación y la adopción de tecnologías para un sector como el de la construcción que se ha caracterizado por ser tradicional. Según María Joao Riberihno, líder de la práctica de construcción de Mckinsey y Company, la crisis del Covid-19 acelerará el cambio en el sector. Más del 60 por ciento de los ejecutivos encuestados por McKinsey

estuvo de acuerdo en que probablemente ocurran cambios a gran escala en los próximos cinco años (CAMACOL, 2020).

Dicho esto, de la mano con herramientas que están empezando a ser aplicadas en el país como Last Planner System y la filosofía Lean (Porrás Díaz, Sánchez Rivera y Galvis Guerra, 2014), se hace necesario el estudio y desarrollo de métodos de gestión logística para apoyar las nuevas tecnologías en los procesos constructivos y en la planificación de los proyectos de construcción.

Tomando en cuenta el desafío de la competitividad en las industrias, la importancia del sector de la construcción en la economía de una región y el poco aumento que se ha registrado en la productividad del sector, es muy importante analizar las razones por las cuales se presenta esta problemática y cómo se podría mejorar. Por esta razón, ante los estudios que muestran los desperdicios que se presentan en las actividades constructivas por falta de una logística acertada, y tomando referencias como Jacobsson y Wilson, (2018) en la cual señalan la logística como uno de los factores operacionales que contribuyen en el éxito del proyecto, se hace necesario estudiar en detalle los sistemas logísticos actuales y proponer una metodología que mejore su eficiencia y, en consecuencia, aumente la productividad de las empresas del sector.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Proponer una metodología de las operaciones y relaciones que configuren la logística básica de abastecimiento del punto de producción de una actividad crítica en una obra de construcción.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las operaciones de abastecimiento existentes en el proceso constructivo en una edificación y seleccionar una actividad crítica del proceso de construcción.
- Analizar las operaciones en el desarrollo de la actividad seleccionada.
- Estructurar un plan logístico básico para el abastecimiento de insumos en la actividad seleccionada.

1.6 Alcance del trabajo

Se desarrolló una metodología logística en función del abastecimiento a los puntos de producción en un proyecto de edificación en el Valle del Cauca.

Para ello, se contactó una constructora que, por razones de confidencialidad, será mencionada a partir de este momento como *Constructora TG*, la cual permitió llevar a cabo diferentes entrevistas con representantes de las áreas de operación:

gerencia, planeación y control, presupuestos, contratación, compras, equipos, almacén. Además, se contó con la oportunidad de entrevistar al gerente de construcción, al director y a residentes de obra, quienes a nivel general suministraron información que es relevante a las operaciones de abastecimiento existentes en los procesos constructivos. Los resultados de estas entrevistas se contrastaron con datos históricos e información relevante de los antecedentes. A partir de lo anterior, se realizó la caracterización de operaciones de abastecimiento en el proceso constructivo de una edificación.

Teniendo en cuenta las operaciones logísticas de la *Constructora TG* y su estado actual, se definieron los límites hasta donde la organización permitiría explorar su programación y se seleccionó una actividad de la ruta crítica que posteriormente fue analizada para la estructuración de un plan logístico básico para el abastecimiento de insumos. Esto permitió desarrollar la metodología más acorde a las necesidades y problemas encontrados.

1.7 Marco teórico

1.7.1 Sistema de abastecimiento

El sistema de abastecimiento es el encargado del proceso de gestión del flujo de materiales de construcción necesarios para la ejecución de un proyecto, desde la fase de planeación hasta que estos lleguen a los diferentes puntos de producción de la obra.

1.7.2 Logística

La logística actualmente se define como el proceso de planear, implementar y controlar de manera eficiente el flujo efectivo y el almacenamiento de suministros, productos, servicios e informaciones correspondientes a todo el sistema, desde el origen hasta el destino final, con el propósito de atender las exigencias del cliente, (Pinheiro de Lima, Breval Santiago, Rodríguez Taboada y Follmann, 2017).

La logística en la construcción es la encargada de gestionar la cadena de suministro, a través de la gestión del servicio al cliente, pedidos, inventario, transporte, almacenamiento, manipulación, embalaje, información, pronóstico, planificación de producción, compras, reempaque, premontaje, ubicación y distribución de instalaciones, manteniendo el valor del cliente por encima de todos los objetivos (Hamzeh, Tommelein, Ballard y Kaminsky, 2007). Además, cabe mencionar que La gestión de la logística de la construcción no es solo la gestión del flujo de material e información, también incluye la gestión de un entorno que facilite las actividades de construcción. (Ghanem et al., 2018).

1.7.2.1 Logística de sitio

La gestión de materiales de sitio es la encargada de asignar espacios para la entrega, almacenamiento y manipulación de recursos con el objetivo de reducir la congestión del sitio y el excesivo movimiento de materiales, para minimizar las ineficiencias (Ghanem et al., 2018).

1.7.2.2 Cadena de suministro

Hay varias definiciones en la literatura, pero según Arroyo (2016) una de las más acertadas y citadas es la de Christopher M, el cual la define como una red de organizaciones que están involucradas, a través de enlaces “aguas arriba” y “aguas abajo” en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios en las manos del cliente final. De acuerdo con lo anterior, se puede tomar como el sistema de organizaciones e individuos que directa o indirectamente, hacen parte de los procesos del proyecto, con el fin de satisfacer al cliente.

1.7.3 Proceso

Un proceso es un conjunto de actividades con una secuencia que se enfoca en agregar valor a su entrada para entregar un producto o servicio a un cliente interno o externo. También pueden estar integrados a otros procesos, donde se pueden agregar los términos Macroprocesos y subprocessos. Una de las razones de establecer y caracterizar un proceso dentro de una organización, es para planificarlo y controlarlo.

Se caracterizan porque las entradas de un proceso son generalmente las salidas de otros y porque en su mayoría no son individuales, es decir, existe una red de procesos interdependientes.

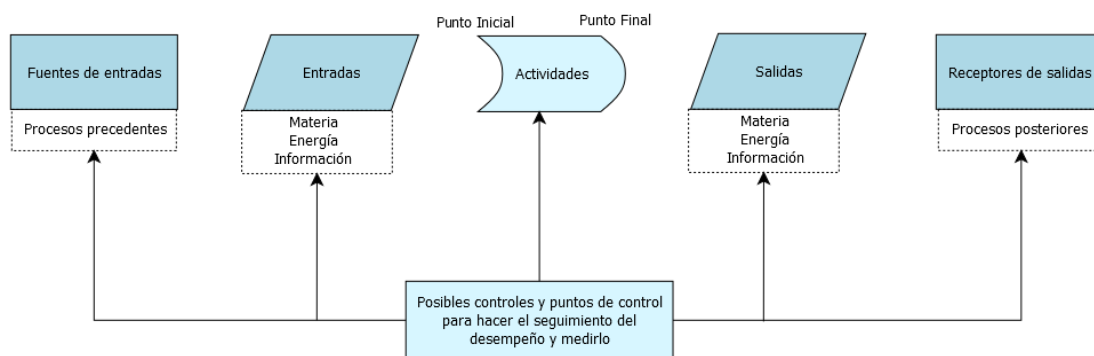


Figura 1.3. Esquema de los elementos de un proceso
Adaptado de: NTC- ISO 9001 (2015)

La Figura 1.3 muestra el esquema de los elementos que componen un proceso, de acuerdo a la norma NTC-ISO 9001(2015), los principales son las entradas y salidas;

las cuales no necesariamente son físicas, también pueden ser flujos de información, servicios, etc.; la secuencia e interacción de las actividades, algo lógico y necesario para establecer orden en los procesos, aquí se debe tener en cuenta la influencia de la interacción con los proveedores y los clientes; los criterios y métodos, los cuales sirven para determinar los requisitos que se desean cumplir y la forma en que se hará ; los recursos que se necesitan para desarrollar completamente las actividades del proceso; debe haber un responsable del proceso, quien se encargue del manejo, la evaluación de riesgos y oportunidades; se debe evaluar el proceso para poder realizar control y por último se debe establecer un sistema de mejora continua basado en las observaciones realizadas al proceso.

En la Figura 1.4, se tiene el esquema del diagrama de SIPOC, por sus siglas en inglés (Supplier – Inputs- Process- Outputs – Customers) esta es una herramienta de representación gráfica muy útil para realizar mapeo de un proceso, identificar sus partes y a partir de esto, definir problemas. Además, se puede integrar fácilmente a los procesos del sistema de gestión de calidad basados en las normas ISO 9001 (Marques y Requeijo, 2009).

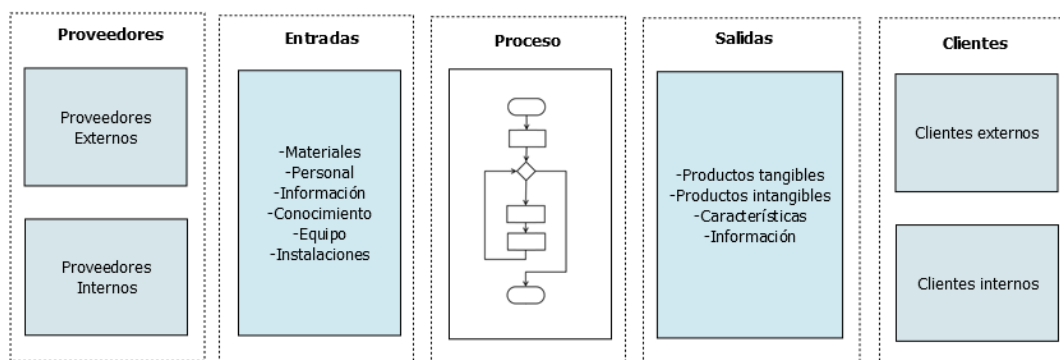


Figura 1.4. Esquema diagrama SIPOC
Fuente: Adaptado de Marques y Requeijo (2009)

En la Figura 1.5, se ve cómo se puede enmarcar cada una de las fases de un proceso en el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar). Este ciclo está enmarcado en los procesos de mejora continua de la calidad, reduciendo costos y mejorando la productividad.

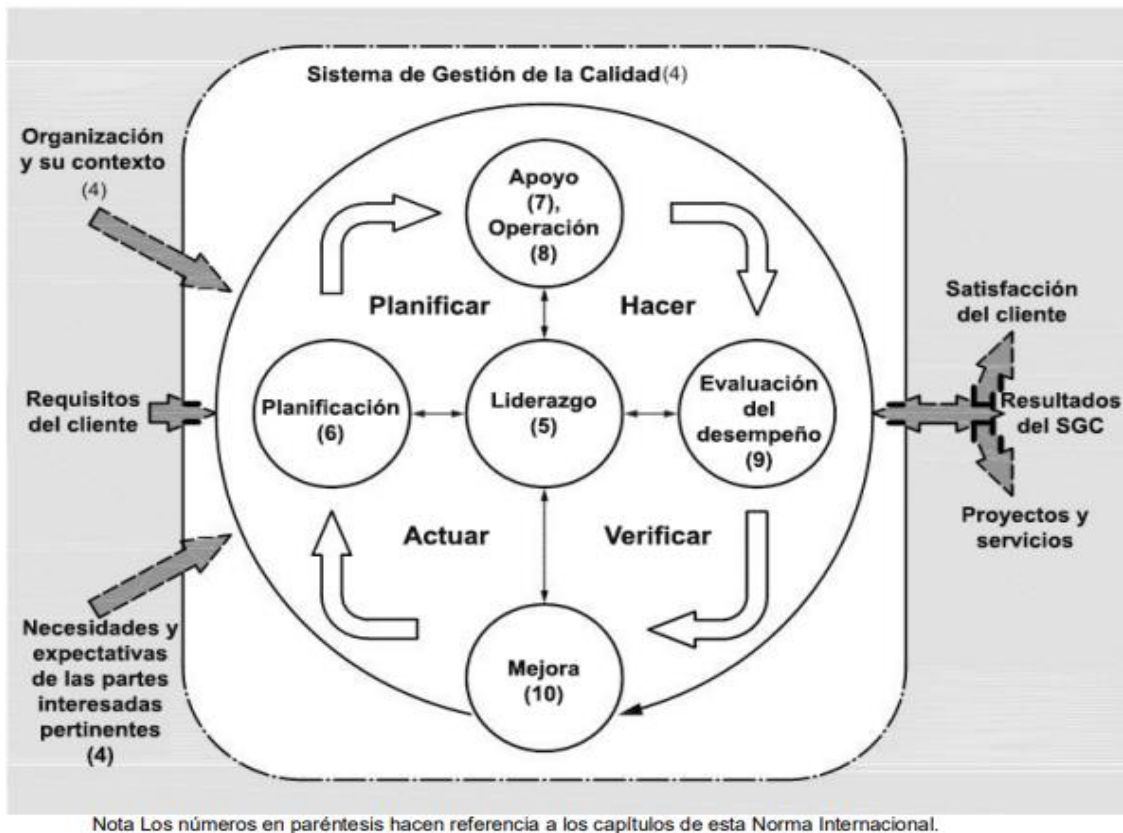


Figura 1.5. Ciclo PHVA aplicado al sistema de gestión de calidad.
Fuente: NTC-ISO 9001 (2015)

La etapa de planificar de acuerdo con esta norma dice que se deben identificar los riesgos y oportunidades y se deben establecer objetivos y asignar los recursos necesarios para generar resultados en los procesos que satisfagan al cliente, cumpliendo las políticas de la empresa. La etapa de hacer es donde se implementa lo planificado, aquí la empresa debe poner los recursos necesarios para cumplir con las metas, debe asegurarse que todo vaya bien en la parte operacional. En la etapa de verificar, como en todo proceso, se debe realizar seguimiento y medición para poder controlar, por tal razón es necesario determinar qué necesita seguimiento y medición, los métodos, tiempos y frecuencias con las que se realizarán y cuándo y cómo se realizará el análisis y la evaluación de la información obtenida, por último, se debe guardar la información ya que es muy importante contar con esos registros para poder comparar posteriormente y mantener la política de mejora continua. Con las tres etapas anteriores cumplidas, en la siguiente llega el momento de actuar y con esto se refiere a tomar las acciones necesarias para mejorar el desempeño, esto se realiza con la información hasta aquí obtenida, la empresa debe identificar las oportunidades de mejora, proponer las soluciones e implementar las acciones pertinentes.

En un proceso hay: actores; son todos los individuos, (personas, organizaciones) que hagan parte del proceso, directa o indirectamente. Componentes; son los elementos, las partes indispensables que juntas, constituyen todo el sistema. Y se debe definir el contexto, ya que cada sistema mantiene una interacción constante con este y sería muy difícil comprender el funcionamiento de un sistema sin comprender su entorno y la manera en que este influye sobre su desarrollo. El proceso de construcción se compone de dos tipos de flujos; el flujo de materiales en el sitio, y el flujo temporal y espacial de los equipos de construcción (Koskela, 1992).

1.7.4 Operación

Cuando se menciona una operación en la construcción se refiere a los procesos, sistemas o métodos necesarios para llevar a cabo la ejecución de un proyecto, gestionando el flujo de información y optimizando los recursos con el fin de agregar valor y convertirlos en productos o servicios.

1.8 Metodología

La metodología desarrollada es de investigación en ciencias del diseño, ya que esta tiene el enfoque explícito de mejorar la práctica, su objetivo principal es resolver un problema, por lo tanto, se puede denominar como una “investigación básica” relevante para la práctica ya que su enfoque está en desarrollar soluciones a problemas reales (Holmström, Ketokivi y Hameri, 2009).

Esta metodología propone iniciar en busca de gestar una solución, enmarcando el problema y desarrollando los primeros elementos de un potencial diseño de solución. Hay que recordar que hay diferentes formas de enmarcar un problema y la clave está en la capacidad de utilizar y combinar los conocimientos de múltiples disciplinas, el objetivo es resolver un problema adaptando las herramientas existentes o utilizando herramientas existentes de formas novedosas.

Posteriormente se realiza una evaluación de la solución desde el punto de vista teórico, para tener una comprensión más completa y poder contribuir a la misma. Finalmente se obtiene una propuesta de solución con una teoría que tiene una aplicabilidad general. En la Figura 1.6 se presenta un esquema general de la programación para llevar a cabo el desarrollo del trabajo de grado.

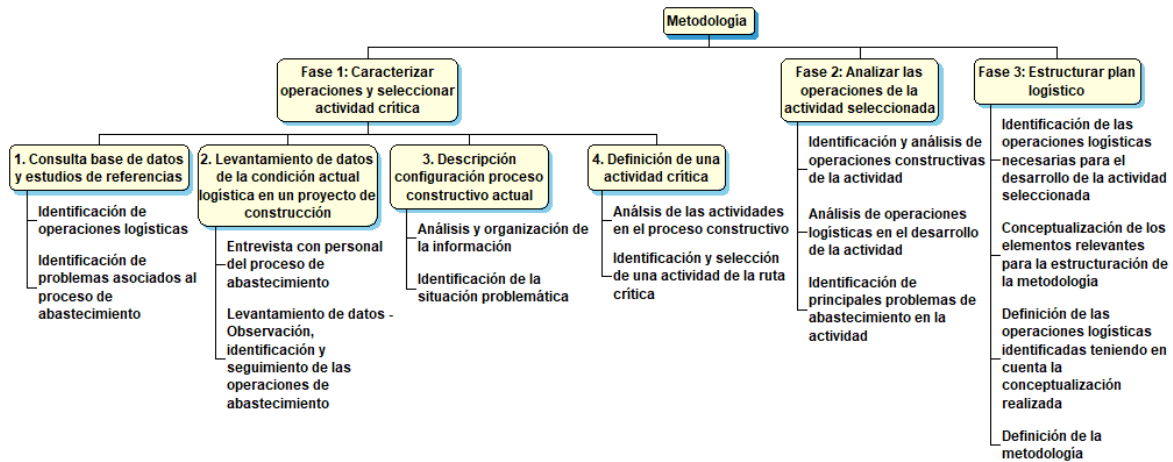


Figura 1.6. Esquema general de la programación del TG
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

Caracterización de las operaciones de abastecimiento existentes en el proceso constructivo en una edificación y selección de una actividad crítica del proceso de construcción

En este capítulo se presenta la forma como se realizó la caracterización. De acuerdo con Sánchez Upegüi, (2010), la caracterización de un proceso desde una perspectiva investigativa es una fase descriptiva de aspectos como los componentes, el contexto, los actores y las operaciones. Con base en lo anterior, se analizaron los componentes y los actores a partir de la revisión bibliográfica y el contexto y las operaciones a partir de consulta con expertos y seguimiento a una obra. Al finalizar, se realiza un análisis para seleccionar una actividad crítica del proceso de construcción a la cual se le hará el enfoque de este estudio.

2.1 Caracterización de las operaciones de abastecimiento existentes en el proceso constructivo en una edificación.

Bajo el enfoque de la investigación, para establecer un contexto, se realiza un estudio local de cómo se desarrolla el sistema de abastecimiento en un proyecto de construcción de edificaciones. Para ello se contó con la aprobación y el permiso de la *Constructora TG*, empresa Caleña, líder en la región, dedicada a la construcción de vivienda, para realizar entrevistas a las diferentes áreas involucradas en el proceso de abastecimiento de una obra y de igual manera, el levantamiento de datos mediante el ingreso a un proyecto en desarrollo.

De acuerdo con la revisión bibliográfica y las entrevistas realizadas, se define que el sistema de abastecimiento de una obra de construcción está compuesto por las siguientes operaciones primarias: Planificación de la logística; Realización de compras; Requisición de materiales; Recepción de materiales; Almacenamiento; Realización de entregas; Solicitud de materiales; y Distribución. Paralelo a todas las anteriores se encuentran las operaciones transversales de: Comunicación; Verificación, seguimiento y acciones correctivas(Vieira, 2006), (Almeyda y Serrano, 2010), (Romero, León, Alvarado, Llanes y Sanez, 2018), (Calero, 2018). En esta sección se describe cada una de las operaciones y su relación con las áreas de la empresa.

2.1.1 Contexto

El estudio se realizó sobre un proyecto de viviendas de interés social que consta de 570 apartamentos distribuidos en 6 edificios de 9,11 y 12 niveles con hasta 10 apartamentos por piso, el cual se desarrolla con el sistema constructivo semi industrializado de muros en concreto reforzado, muy usado por la empresa en sus construcciones dado que se presenta como una alternativa eficiente para poder

generar competitividad en el sector, sin embargo, se siguen presentando pérdidas e ineficiencias en la ejecución de las operaciones constructivas.

Con base en las entrevistas realizadas (ver Anexo A.1. *Entrevistas realizadas*) a las áreas de las diferentes operaciones: Planeación y control, Compras, Almacén y Punto de producción; las ejecutadas al director de obra y el residente de obra, se recopiló la información sobre las áreas y cada una de las operaciones que componen el sistema de abastecimiento, además de la observación directa a través de visitas a obra.

2.1.2 Componentes – Recursos

Los componentes que conforman el sistema de un proyecto de construcción son los recursos, estos los divide Cruz y Rosa (2007) como materiales, recursos humanos, equipamientos y herramientas, e instalaciones. Para cada uno de estos recursos existe información que debe ser evaluada al momento de tomar decisiones técnicas, financieras y sociales, las cuales se interrelacionan entre sí.

Materiales

Los materiales de construcción corresponden a todos los productos, subproductos y materias primas empleados en la construcción de los proyectos. Este recurso tiene como característica que no varían en función del tiempo de ejecución, pero si varían debido a los desperdicios y falta de calidad en las operaciones de recepción, almacenamiento, movimientos y la instalación.

Recursos humanos-Cuadrillas

Las cuadrillas están compuestas por un equipo de personas que tienen la capacidad de realizar las actividades para las cuales son asignados, éste es un recurso muy importante, pero a la vez muy complejo ya que es muy variable. Algunas de las características para tener en cuenta de este componente es que su rendimiento depende de diversos factores entre los cuales se encuentran: las políticas de la empresa, experticia, educación, capacidades técnicas, motivación, cultura, ergonomía, instrucciones entre otros. Una de las recomendaciones para el manejo del personal es crear cuadrillas especializadas y evitar rotarlas, con el fin de mejorar su rendimiento en las actividades asignadas, esto aumenta la calidad y la productividad.

Equipos y herramientas

Este es un recurso que se maneja de acuerdo con el tipo y volumen de trabajo, las condiciones de espacio del sitio y los plazos contractuales. Este recurso generalmente es variable en función del tiempo por lo cual se le debe dar un uso eficiente.

Sitio de trabajo o instalaciones

El sitio de trabajo es el punto donde converge el flujo de recursos y por tanto requiere una adecuada planificación, ejecución y control, ya que de la manera en que se configuren y desarrollen las actividades en este punto va a depender el cumplimiento de los objetivos planeados. Por esta razón el sitio de trabajo se denomina en esta investigación como el punto de producción, y adquiere una gran importancia puesto que es ahí donde se unen muchas de las variables del proyecto y si una presenta un problema, las demás se verán afectadas inmediatamente lo que conlleva a esperas y pérdidas que afectan finalmente la productividad del proyecto en general.

2.1.3 Actores - Áreas del Sistema

Dado un contexto determinado, como lo es en este caso un proyecto de construcción en desarrollo, los actores, o las áreas del sistema son las encargadas de ejercer acciones sobre los componentes-recursos para garantizar un adecuado funcionamiento del proyecto y la eficiencia/eficacia en el desarrollo de las operaciones de forma organizada. Los actores identificados son los siguientes:

Planeación y control

El área de planeación y control de una empresa tiene la función de establecer los objetivos y la metodología para alcanzarlos (Boquera Pérez, 2015), por tanto, en un proyecto de construcción se refiere a definir los diseños, el presupuesto y la programación detallada del conjunto de actividades necesarias y controlar que la ejecución se conduzca de acuerdo con el plan establecido para culminar con éxito el proyecto. La operación de planificación de la logística está contenida en esta área.

Compras

El área de compras tiene el objetivo de realizar la adquisición de los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto de manera eficiente, manteniendo la mejor relación entre calidad, precio y forma de pago. Realiza la evaluación y selección de los proveedores tomando en cuenta los criterios establecidos por la empresa y de acuerdo con la caracterización, contiene las actividades de selección de proveedores y realización de compras.

Almacén

El área de almacén tiene el objetivo de recibir, almacenar, administrar y conservar los materiales, insumos e información, optimizando espacios, costos y garantizando el aprovisionamiento de modo tal que se entreguen los materiales cuando sean

requeridos, en la calidad y cantidad correcta. En el marco de esta investigación, el área de almacén abarca las operaciones de requisición, recepción, almacenamiento y entrega de materiales.

Producción

Es el área encargada de las operaciones de transformación de los recursos en el producto final, por lo que se convierte en un área central y hacia la cual convergen la mayoría de las operaciones de la obra, entre ellas, el abastecimiento que es una de las entradas más significativas. Respecto al sistema de abastecimiento, el área de producción contiene las dos últimas operaciones; solicitud de materiales y distribución.

Teniendo en cuenta que cada operación está relacionada a un área de la organización de las empresas, en la

se presenta la relación correspondiente entre las operaciones identificadas y las áreas correspondientes.

Tabla 2.1. Relación área – operaciones
Fuente: Elaboración propia

		Operaciones									
		Planificación de la logística	Realización de compras	Requisición de materiales	Recepción de materiales	Almacenamiento	Realización de entregas	Solicitud de materiales	Distribución	Comunicación	Verificación, Seguimiento y acciones correctivas
Áreas relacionadas	Planeación y control	X								X	X
	Compras		X							X	X
	Almacén			X	X	X	X			X	X
	Punto de producción							X	X	X	X

2.1.4 Operaciones logísticas

A continuación, se realiza la descripción de cada operación del proceso de abastecimiento. Al finalizar la descripción de cada operación, se referencia una matriz de caracterización, presentada en el Anexo A.2. *Matrices de caracterización de los procesos de logística y abastecimiento*, del trabajo. En esta matriz se especifica el objetivo de la operación, el área responsable, los proveedores, las entradas, tareas, salidas y clientes, además, menciona los recursos, los documentos asociados y los indicadores de gestión presentes en la operación.

Planificación de la logística

La planificación del sistema de abastecimiento inicia cuando ya se tienen los diseños del proyecto, esquemas, especificaciones técnicas y cantidades, el área de planeación obtiene esta información y realiza un análisis que será la base de la planificación del sistema de abastecimiento y la logística para desarrollarlo. Una vez se aprueba el proyecto, con base en esta información se inicia la planificación del sitio a través del layout de obra, esta debe ajustarse para cumplir con la programación y el cronograma del proyecto, pero debe considerar las condiciones topográficas, las rutas de llegada al sitio, el sistema constructivo y la disponibilidad de espacio para el almacenamiento. Dentro de las actividades más importantes por determinar y especificar en el diseño del layout están; determinar las ubicaciones de las instalaciones como campamentos, bodegas, puntos de acopio de materiales de patio, plantas de concreto, torres grúas, redes provisionales eléctricas e hidrosanitarias, porterías y las vías internas para llegar a los sitios con los materiales. Otra de las actividades es decidir los movimientos de formaleta de acuerdo con su tipo, y los movimientos que realizarán los equipos de carga de materiales.

El desarrollo final del layout de obra lo hace el director y el residente junto a su equipo, ahí se detalla cómo se realizarán las actividades de abastecimiento y se toma en cuenta que habrá modificaciones a medida que la obra avanza.

El área de planificación no tiene unos indicadores para su trabajo, se manejan retroalimentaciones de los proyectos, de tal manera que, en el caso de presentar problemas, se registra la razón y se informa a planeación para tenerlo en cuenta en los futuros proyectos.

La actividad de planificación de los materiales se realiza en el área de planeación y control. Inicialmente se eligen los materiales de acuerdo con el proyecto y se hace una especificación técnica para cada uno de estos. Posteriormente, hay un encargado de presupuestos, quien participa en la planificación del proyecto y de las actividades de construcción provisionales como campamentos e instalaciones, obteniendo la información necesaria para elaborar el presupuesto, esto se detalla en el análisis de precios unitarios (APU), donde se cuantifican los materiales de acuerdo con la actividad incluyendo desperdicios

En la planificación se hace una programación general de los materiales críticos como el acero y el concreto dada su importancia y costo. Se obtienen las cantidades totales y se apoyan en la gestión del área de compras para realizar las negociaciones. Sin embargo, las cantidades exactas para hacer pedidos se calculan en obra por parte del director y el residente a medida que avanza la ejecución del proyecto. Con base en la programación y el cronograma de obra inicial se crean los

requerimientos de los materiales para las actividades que se deben realizar y coordinan su entrega con los proveedores directamente.

Por otra parte, algunos recursos se planifican con bastante anticipación, como los ascensores, transformadores y plantas de emergencia, ya que tardan bastante en llegar debido a que en muchas ocasiones es necesaria su importación.

En la Tabla A.2. 1, se presenta la matriz de caracterización realizada del proceso de planificación de la logística.

Realización de compras

El proceso de selección de proveedores incluye dos partes; primero se evalúa la experiencia, trayectoria, cumplimiento de normas y certificaciones de calidad del proveedor, para garantizar su idoneidad. Una vez aprobado, se ingresa a una base de datos de proveedores. La segunda parte inicia cuando hay un requerimiento de materiales, se cotiza con los proveedores de la base de datos y se selecciona la mejor oferta de acuerdo con el análisis comparativo realizado, el cual busca encontrar la mejor relación y condiciones entre calidad, precio y forma de pago.

Para los proveedores se tiene un indicador de nivel de devolución de productos y se les realiza una evaluación semestral en la que se verifica el cumplimiento de; especificaciones técnicas, cantidades, condiciones de entrega, atención al cliente, soporte técnico y valor agregado. De acuerdo con estos resultados, se hace retroalimentación en busca de mejoras.

El proceso de compras inicia a partir de una requisición de materiales, se verifica si la empresa tiene disponibilidad de estos materiales en otro lugar, si no los tiene se hacen cotizaciones con los proveedores de la base de datos, se realizan análisis comparativos entre las cotizaciones, y con base en este se decide a qué proveedor enviar la orden de compra.

Para cada una de las operaciones hay horarios establecidos con el fin de mantener el orden. Se manejan indicadores de gestión como tiempo de elaboración de la orden de compra, gestión del ahorro, la cual consiste en los ahorros de las compras respecto al presupuesto y también se hace una encuesta mensual para medir la satisfacción de los usuarios respecto al área de gestión de compras. Toda la información del área de compras y los datos históricos se almacenan en el software. Un dato importante es la oferta logística de los proveedores, la cual consiste en el tiempo que tarda el proveedor en entregar un material después de generada la orden de compra.

En la Tabla A.2. 2, se presenta la matriz de caracterización realizada del proceso de realización de compras.

Requisición de materiales

Este proceso está relacionado al área de almacén, pero direccionado por los residentes, ya que estos últimos realizan cálculos de cantidades de obra de manera detallada y se comparan con los valores del presupuesto; si es menor hay un ahorro y si es mayor se debe solicitar una orden de cambio para poder ajustar este valor y retroalimentarse para ver que sucedió o que causó esta variación. Con esta información y de acuerdo con la programación de obra, al inventario, la disponibilidad de espacio y a los tiempos logísticos, se sabe cuándo se debe generar la requisición. Esta se hace en coordinación con almacén, a través del software que maneja la empresa, especificando los datos relacionados a los materiales y la fecha en la que se necesita que estén en obra, este software ayuda a controlar los requerimientos de tal manera que compara lo que se pide contra los proyectado en el presupuesto y no permite sobrepasar lo especificado en este.

Una vez se genera la requisición, esta es enviada al área de compras, donde realizan su proceso el cual termina en la generación de la orden de compra, posteriormente, el área de almacenamiento, en coordinación con el residente se ponen en contacto con el proveedor para confirmar la fecha de entrega de los materiales. En el software mediante el cual se crea la requisición, se debe hacer un seguimiento de esta, para saber en qué instancia del proceso se encuentra, hasta que los materiales lleguen para hacer el proceso de recepción.

En la Tabla A.2. 3, se presenta la matriz de caracterización realizada del proceso de requisición de materiales.

Recepción de materiales

Una vez se coordina la entrega de los materiales entre el almacén y el proveedor, estos llegan a sitio y deben ser recibidos por parte de almacén, quien debe realizar la verificación de la integridad de los materiales, que el pedido coincida con la orden de compra, el cumplimiento de las especificaciones técnicas y la documentación exigida, para autorizar el ingreso de estos materiales y luego registrarlos en el inventario. Se registra cuando hay daños, devoluciones o inconsistencias para informar al área de compras. Posteriormente se ubican de acuerdo con su tipo, usando los equipos necesarios, en los espacios de almacenamiento previamente definidos, tomando todas las medidas de seguridad y recomendaciones del producto para su correcto descargue, almacenaje y conservación.

En la Tabla A.2. 4, se presenta la matriz de caracterización realizada del proceso de recepción de materiales.

Almacenamiento

El proceso de almacenamiento consiste en ubicar los materiales en un lugar destinado para su conservación y protección, mientras se entregan a los contratistas. Esta actividad tiene unas normas para el correcto manejo de materiales, con el objetivo de conservar su buen estado y garantizar la seguridad de estos, de las instalaciones y del personal.

Dado que en la planeación se debe hacer un análisis del cual resultan los espacios de almacenamiento, en este proceso se deben seguir los lineamientos definidos. Los materiales se pueden ubicar en el almacén o en los puntos de acopio para los materiales de patio de acuerdo con su tipo. Otras funciones importantes correspondientes al almacén son: la gestión del inventario, el control de préstamo de herramientas, la organización de bodega, la rotulación de materiales y el archivo de documentación ya que se mueve mucha papelería. Un documento muy importante para hacer seguimiento es el *Kardex*, donde se obtiene la trazabilidad de cada material.

En la Tabla A.2. 5, se presenta la matriz de caracterización realizada del proceso de almacenamiento.

Solicitud de materiales

La solicitud de material es el proceso mediante el cual se solicitan materiales al almacén. Cada punto de producción tiene su programación y de manera diaria o semanal realizan solicitudes de materiales. En cada cuadrilla se cuenta con una persona designada por el contratista para pedir los materiales de manera verbal o escrita en una nota dirigida al residente de obra. El residente la revisa y si todo es consistente genera un vale.

El vale que corresponde al formato establecido para hacer pedido de materiales y debe ir firmado por el residente o quienes autoricen según los lineamientos de la empresa en particular. El vale diligenciado y aprobado se entrega al almacén para que estos realicen el proceso de entrega de materiales. Un dato importante en el vale es la asignación del material a la actividad para la cual se pide, ya que con esta información se puede realizar un control detallado.

En la Tabla A.2. 6, se presenta la matriz de caracterización realizada del proceso de solicitud de materiales.

Realización de entregas

La realización de las entregas nace a partir del proceso de solicitud de materiales, mediante el formato de vale. Una vez este ingresa al almacén, se verifica que esté

autorizado mediante las firmas requeridas y se procede a realizar la entrega al contratista de los materiales solicitados. Posteriormente, se transcribe el vale en el sistema para registrar la salida del inventario. Esta entrega se realiza en el almacén o punto de acopio y el encargado de llevarlas al punto de producción es el contratista que las recibe.

En la Tabla A.2. 7, se presenta la matriz de caracterización realizada del proceso de realización de entregas.

Distribución

El proceso de distribución inicia una vez el almacén realiza la entrega de materiales. El encargado de realizar este proceso es el contratista, el cual tiene una persona de su equipo de trabajo encargada de recibir los materiales y dependiendo del tipo y la cantidad de material lo transporta manualmente, en minicargadores, o a través de equipos como torres grúa, malacates y demás maquinaria que suministra la constructora para el manejo de materiales pesados. Es importante aclarar que una vez los materiales se le entregan al contratista, este se hace responsable de ellos.

En la Tabla A.2. 8, se presenta la matriz de caracterización realizada del proceso de distribución.

Por otro lado, existen algunas operaciones que influyen de manera significativa en el desarrollo de todo el sistema de abastecimiento y se desarrollan simultáneamente. Tal es el caso de las operaciones de comunicaciones y verificación, seguimiento y acciones correctivas.

Comunicaciones

Es importante mencionar que la comunicación y el manejo de la información es una operación muy importante y se desarrolla de manera paralela a todas las operaciones del sistema de abastecimiento y de la obra en general.

Hay diferentes canales de comunicación, desde la planeación se elabora una matriz de comunicaciones y se revisa con cada interesado cómo se va a comunicar. Dado que el equipo interno realiza reuniones periódicas para hacer seguimiento, se presentan informes de gestión mensuales por cada área. La comunicación es constante, de manera verbal, por radios, celulares y de manera formal a través de correos electrónicos, reuniones virtuales, reuniones en obra, etc.

Verificación, seguimiento y acciones correctivas

Esta operación también es paralela a todo el sistema y es muy importante ya que permite hacer seguimiento y comparar lo que se está realizando con lo planeado,

determinar si hay alguna desviación para encontrar la causa de esto y tomar decisiones acertadas para corregir los fallos y lograr cumplir el objetivo de manera eficiente. Para cumplir estos objetivos, el control debe tener metodologías definidas que permitan medir frecuentemente el desempeño de cada proceso

2.1.5 Problemas encontrados en el sector de la construcción

Dada la importancia del sector de la construcción y la baja productividad que lo caracteriza, son muchos los autores que han investigado e identificado problemas relacionados a esta situación, generalmente con un enfoque en las actividades constructivas. En esta investigación se hizo una extensa revisión bibliográfica, en la cual se buscaron los problemas encontrados por diferentes autores, relacionados directamente al sistema de abastecimiento, a continuación, se muestran las tablas con los problemas relacionados a cada una de las operaciones identificadas, los cuales en muchos casos fueron encontrados en varios autores, lo que indica que estas problemáticas vienen afectando al sector de manera constante.

En el Anexo A.3. *Problemas asociados a las operaciones de logística y abastecimiento*, se presentan las tablas donde se relacionan los problemas en las diferentes operaciones de la logística y abastecimiento con los diferentes autores que los han identificado a lo largo del tiempo. A continuación, se presentan los problemas más frecuentes para cada proceso.

Planificación de la logística (ver Tabla A.3. 1):

- Débil integración y cooperación entre los integrantes de la cadena de suministro
- Dificultad para coordinar el trabajo
- Recurso humano con ausencia de habilidades
- Fallas en el diseño del layout
- Debilidades en el sistema de transporte de abastecimiento
- Problemas con el uso de los equipos
- Falta de habilidades y capacidades de planificación, programación y control del área logística
- Inexistencia de roles en logística del sitio
- Ausencia del área de logística y falta de procesos definidos
- Programación inexistente o ineficiente del manejo de los recursos
- Deficiencias en la planificación
- Baja productividad
- Uso de materiales poco comunes
- Pobre coordinación entre los miembros del equipo de planeación

- Incapacidad para pronosticar acertadamente los periodos de las actividades
- Inexactitud en el presupuesto de compras

Realización de compras (ver Tabla A.3.2):

- Falla del proveedor
- Suministro de materiales de baja calidad
- El comercio tradicional está basado en el precio más bajo
- Dependencia extrema de proveedores
- No hay un proceso para seleccionar los proveedores
- Baja diversidad de proveedores
- Errores en las ordenes
- Retraso en la aprobación de materiales

Requisición de materiales (ver Tabla A.3.3):

- Retraso en la adquisición de materiales(por parte del subcontratista o del propietario)

Recepción de materiales (ver Tabla A.3.4):

- Procesos de carga/descarga no definidos
- Diferentes fórmulas para ordenar, manejar y descargar materiales
- Desperdicios por descarga incorrecta de materiales
- Inadecuada verificación de especificaciones y calidad de material que llega al sitio
- Excesivo control e inspección

Almacenamiento (ver Tabla A.3.5):

- Pérdidas y daños por manejos o espacios inadecuados
- Poco espacio de almacenamiento
- Manejo de materiales innecesario y reubicaciones
- Exceso de material en sitio
- Manejo múltiple y extenso de materiales
- Pobre gestión de materiales
- Control inadecuado sobre los materiales
- Mucho hurto
- Clasificación inadecuada de materiales(materiales que no coinciden con las ubicaciones)
- Procesos internos deficientes

- Los 5 factores que más influyen en la productividad; herramientas y consumibles, equipos de construcción, gestión de planos, dirección y coordinación, y materiales.
- Débil integración entre logística interna y externa
- Escasez de materiales, causa esperas

Solicitud de materiales (ver Tabla A.3.6):

- Error en la especificación de materiales
- Cambios en los pedidos
- Pedido de materiales por debajo o por encima de lo necesario, causa exceso o escasez de material
- Manejo innecesario de herramientas
- Pedidos urgentes

Realización de entregas (ver Tabla A.3.7):

- Demora en entrega de materiales y componentes
- Esperas por equipos
- Errores en las entregas de materiales
- Mano de obra desperdiciada buscando materiales
- Desperdicios causados por excesivo movimiento de materiales
- No disponibilidad de materiales
- Problemas en la manera como se realizan las entregas causando esperas o congestión

Proceso de distribución (ver Tabla A.3.8):

- Gestión logística ineficiente
- Métodos de distribución ineficientes
- Distribución ineficiente de materiales
- Manejo de material con malas prácticas
- Pobres condiciones de seguridad y salud
- Interferencia y congestión causado por exceso de materiales y basura
- Excesivo e innecesario movimiento de materiales
- Demoras en el transporte de materiales
- Escasez de equipo
- mucho movimiento de materiales manual
- Ocio y desplazamiento por traslado de materiales
- Pérdidas, daños y desperdicios de materiales en sitio

Finalmente, como se mencionó anteriormente, las operaciones de comunicaciones; y verificación, seguimiento y acciones correctivas influyen de manera significativa en el desarrollo de todo el sistema de abastecimiento, por lo cual, también se identifican sus problemas más frecuentes.

Comunicación (ver

Tabla A.3.9):

- Problemas de comunicación que causan esperas y falta de coordinación
- Espera por instrucciones o información
- Manejo inadecuado de la información

Actividades de verificación, seguimiento y acciones correctivas (ver Tabla A.3.10):

- Pobre o inadecuada programación, coordinación y/o control del proceso de abastecimiento
- No hay retroalimentación de los errores
- Problemas debidos a factores externos a la planificación logística, cómo la pobre planificación y control de las actividades de obra.
- Ausencia de cooperación entre trabajadores
- Baja moral y pobre motivación en los equipos de trabajo
- Variaciones externas que perturban la producción

Con los datos de los problemas encontrados en la revisión bibliográfica, el seguimiento y las entrevistas realizadas al personal de la obra, se realiza un análisis en busca de la causa raíz o las causas fundamentales de la problemática en cada proceso usando la herramienta del diagrama de Ishikawa o espina de pescado (ver Figura 2.1) la cual permite analizar y organizar las causas que generan estos problemas, para posteriormente poder tomar decisiones consecuentes.

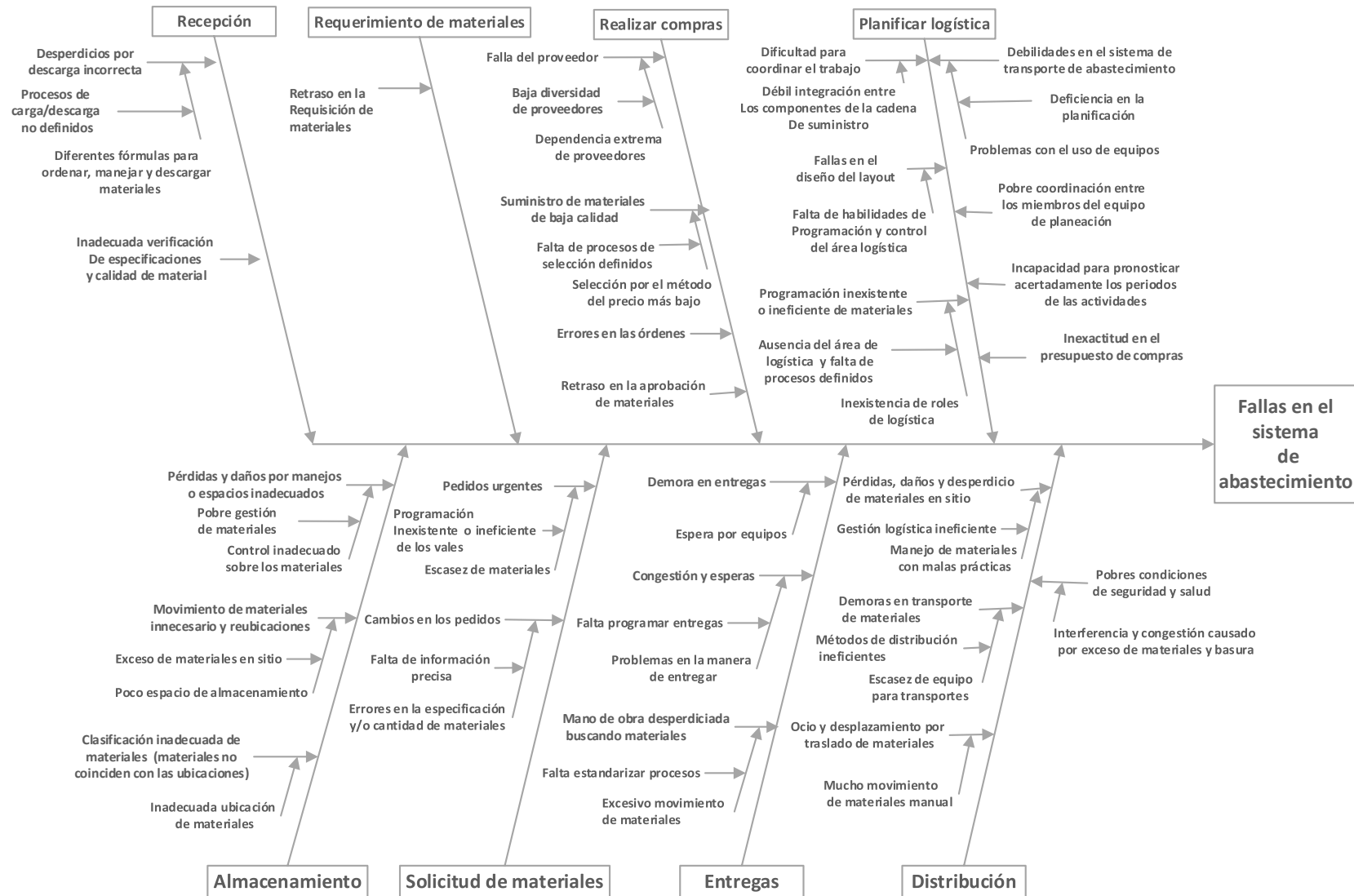


Figura 2.1. Diagrama Causa – Raíz de los problemas de las operaciones logísticas
Fuente: Elaboración propia

2.1.6 Resultados de la caracterización

Una vez identificados los aspectos más relevantes para cada proceso, incluyendo sus problemáticas, se lleva a cabo el resumen de la caracterización de las operaciones de abastecimiento estructurando la información recopilada en un diagrama de flujo y una matriz de caracterización general.

Las operaciones identificadas dentro del sistema de abastecimiento son las siguientes: Planificación de la logística; Realización de compras; Requisición de materiales; Recepción de materiales; Almacenamiento; Realización de entregas; Solicitud de materiales; Distribución. Paralelo a todos los anteriores se encuentran las operaciones de: Comunicación y Verificación, seguimiento y acciones correctivas.

En la Figura 2.2 se presenta un diagrama de flujo macro del sistema de abastecimiento en el cual se representan las operaciones identificadas y cómo están enmarcadas en las diferentes áreas de la empresa que intervienen.

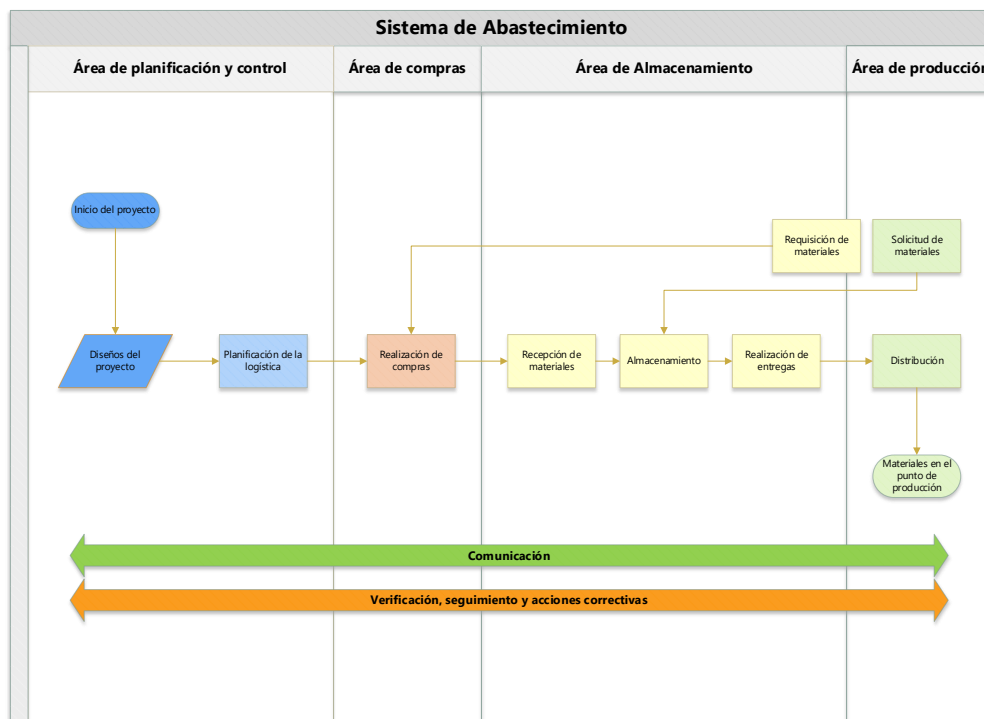


Figura 2.2. Diagrama de flujo del sistema de abastecimiento.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra de manera más detallada el funcionamiento del sistema. En la Figura 2.3 se presenta la interacción entre el área de planificación y control y el área de compras; por otro lado, en la Figura 2.4 se presenta para las áreas de compras, almacenamiento y producción.

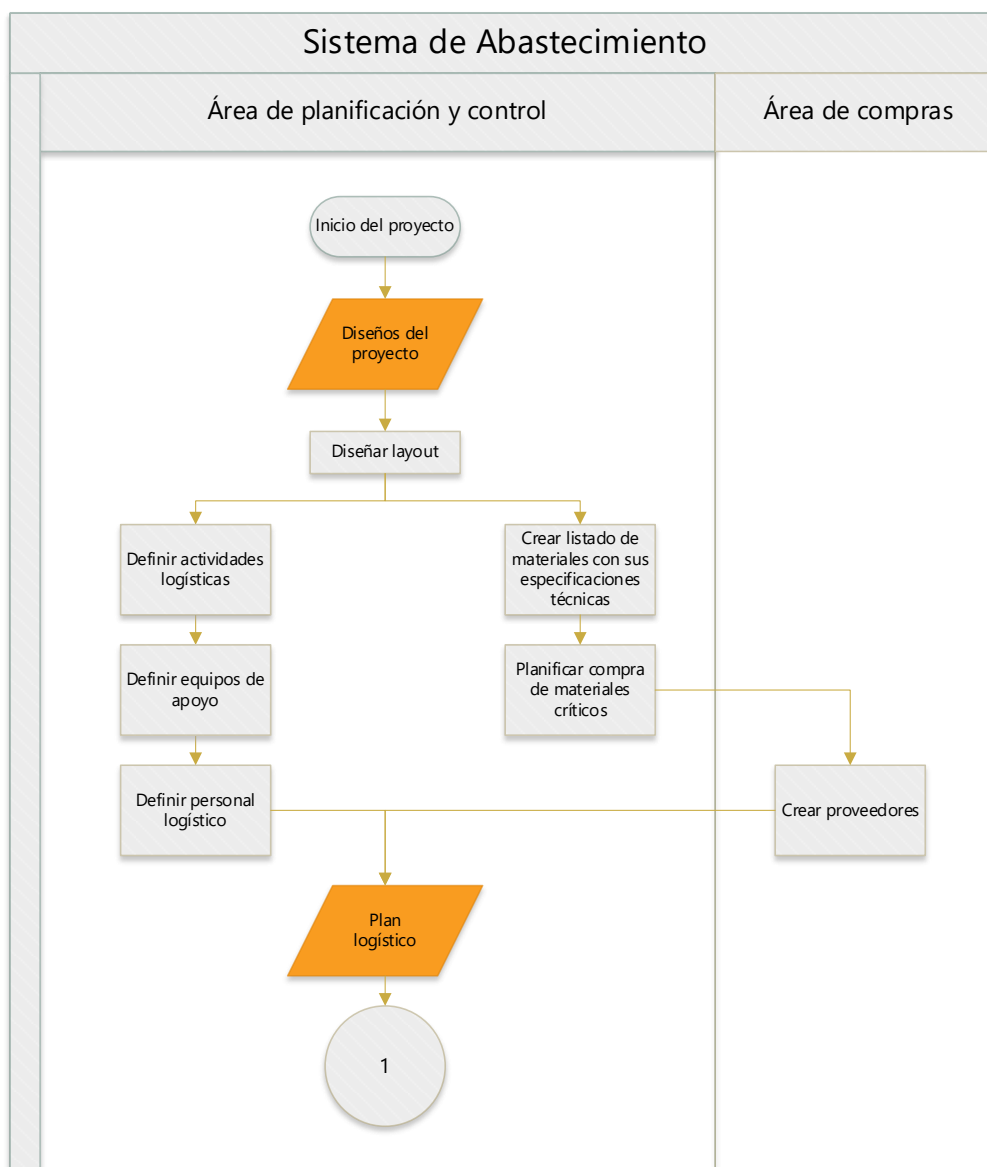


Figura 2.3. Diagrama de flujo de las áreas de planificación y control, y compras.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2.3 y Figura 2.4, se puede detallar el funcionamiento del sistema de abastecimiento, de acuerdo con las actividades que se desarrollan en cada una de las áreas, con el fin de que los materiales lleguen al punto de producción. Aquí se puede notar que es un sistema bastante complejo, ya que tiene bastantes elementos y muchas interacciones con sistemas externos.

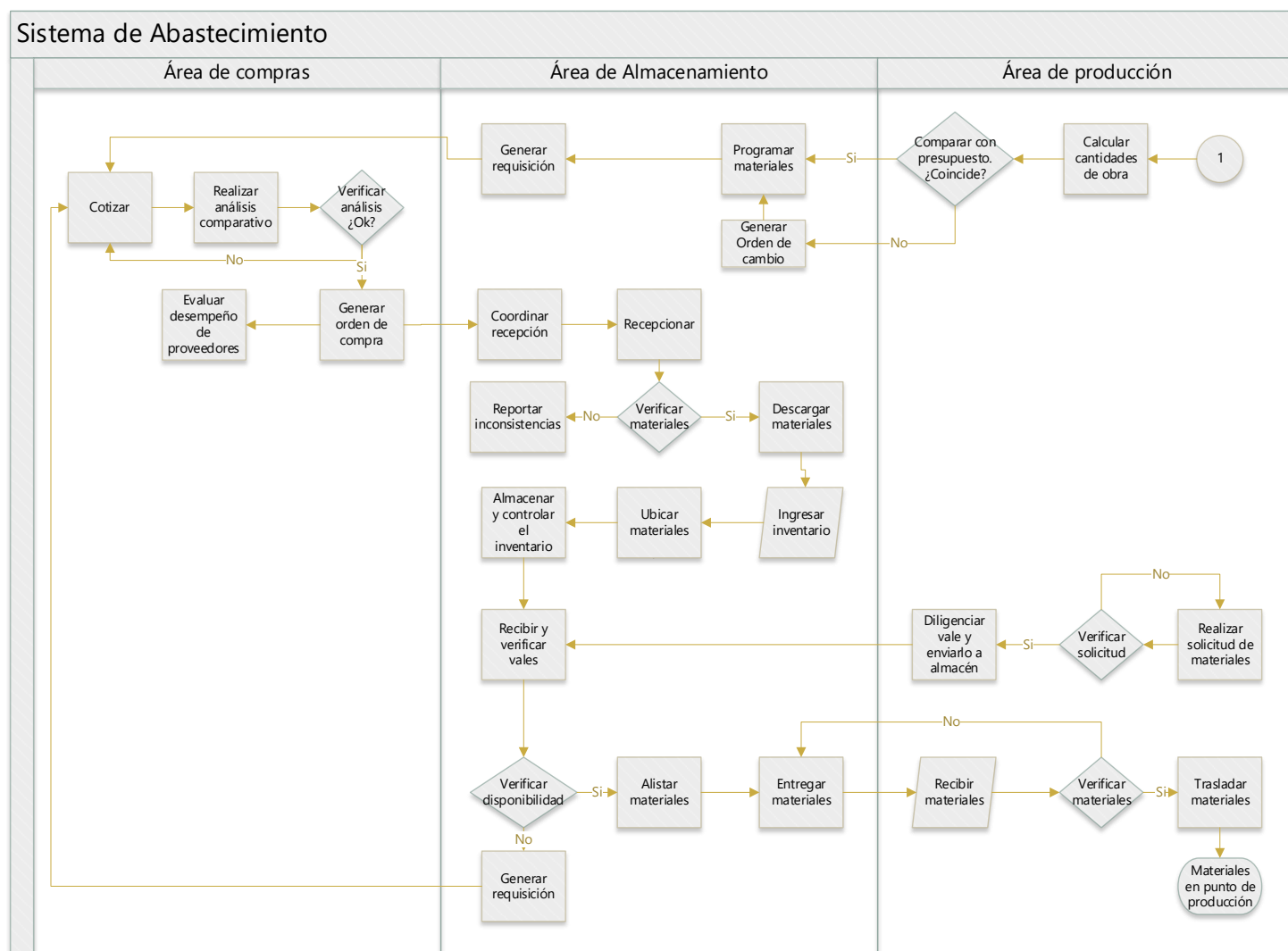


Figura 2.4. Diagrama de flujo de las áreas de compras, almacenamiento y producción.
Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo A.4. *Matriz de caracterización general*, Tabla A.4.1, se presenta una matriz de caracterización general, donde se resumen las operaciones identificadas en esta investigación. En esta matriz se puede identificar de manera macro, las diferentes operaciones del sistema de abastecimiento, y la manera cómo se desarrollan de forma secuencial, tal como se muestra en la Figura 2.2. En esta matriz de caracterización general, se puede ver que las entradas de las operaciones son las salidas de sus predecesoras, además se muestran las áreas responsables de cada operación y los clientes que son actores del mismo sistema.

Una vez caracterizadas las operaciones, se continua con el análisis de los problemas asociados a las actividades logísticas, esto con el fin de identificar de manera muy específica cuáles son sus causas. Después de una amplia revisión bibliográfica sobre los problemas asociados a la logística de abastecimiento de los proyectos de construcción (ver Anexo A.3. *Problemas asociados a las operaciones de logística y abastecimiento*), y de identificar los problemas raíz mediante el diagrama causa – raíz o Ishikawa (figura 2.1), se procede a realizar un análisis detallado mediante el cual se identifica con mayor precisión cuales son las causas de estos problemas. Para esto se tomaron las causas raíz identificadas en el diagrama de Ishikawa y se analizan mediante la matriz de Vester, (Ver Anexo A.5. *Matriz de Vester*) la cual permite identificar el nivel de influencia o causalidad de cada uno de los problemas para saber en cuales es necesario priorizar.

De acuerdo con este análisis, los siguientes deben ser los problemas en los que se debe priorizar con el fin de lograr el mejoramiento del sistema de abastecimiento en las obras de construcción:

Tabla 2.2. Problemas por priorizar
Fuente: Elaboración propia

Problema	Operación logística	Tipo
Deficiencia en la planificación	Planificación de la logística	ACTIVOS
Falta de habilidades de programación y control del área logística	Planificación de la logística	
Ausencia del área de logística y falta de procesos definidos	Planificación de la logística	
Pobre coordinación entre los miembros del equipo de planeación	Planificación de la logística	
Programación inexistente o ineficiente de los vales	Solicitud de materiales	
Inexactitud en el presupuesto de compras	Planificación de la logística	CRÍTICOS
Falta de información precisa	Solicitud de materiales	
Gestión logística ineficiente	Distribución	

En la Tabla 2.2, se presentan los problemas a priorizar, los tipo activos se consideran la causa principal de la situación problemática ya que tienen altos niveles de influencia/causalidad y baja dependencia/consecuencia, y los tipo críticos también requieren atención aunque tengan un alto nivel de dependencia, ya que también tienen un alto nivel de influencia (Ver Anexo A.5. *Matriz de Vester*).

Se puede concluir que la mayor oportunidad de mejora está en realizar una adecuada planificación y control del sistema logístico. Por tanto, se debe realizar el enfoque en las operaciones del área correspondiente, para lograr un alto impacto en el mejoramiento de todo el sistema.

2.2 Selección de una actividad crítica del proceso de construcción.

Para seleccionar la actividad crítica, se analizó el presupuesto, el cronograma de obra y la repetitividad de las tareas.

Teniendo en cuenta la integración de costos por capítulo en el presupuesto de la obra visitada de la *Constructora TG*, se presenta la Figura 2.5, donde se observan los porcentajes que genera cada capítulo sobre los costos directos de la obra. Se puede evidenciar que el mayor porcentaje corresponde a la estructura, la cual tiene un valor del 34,7% de los costos directos.

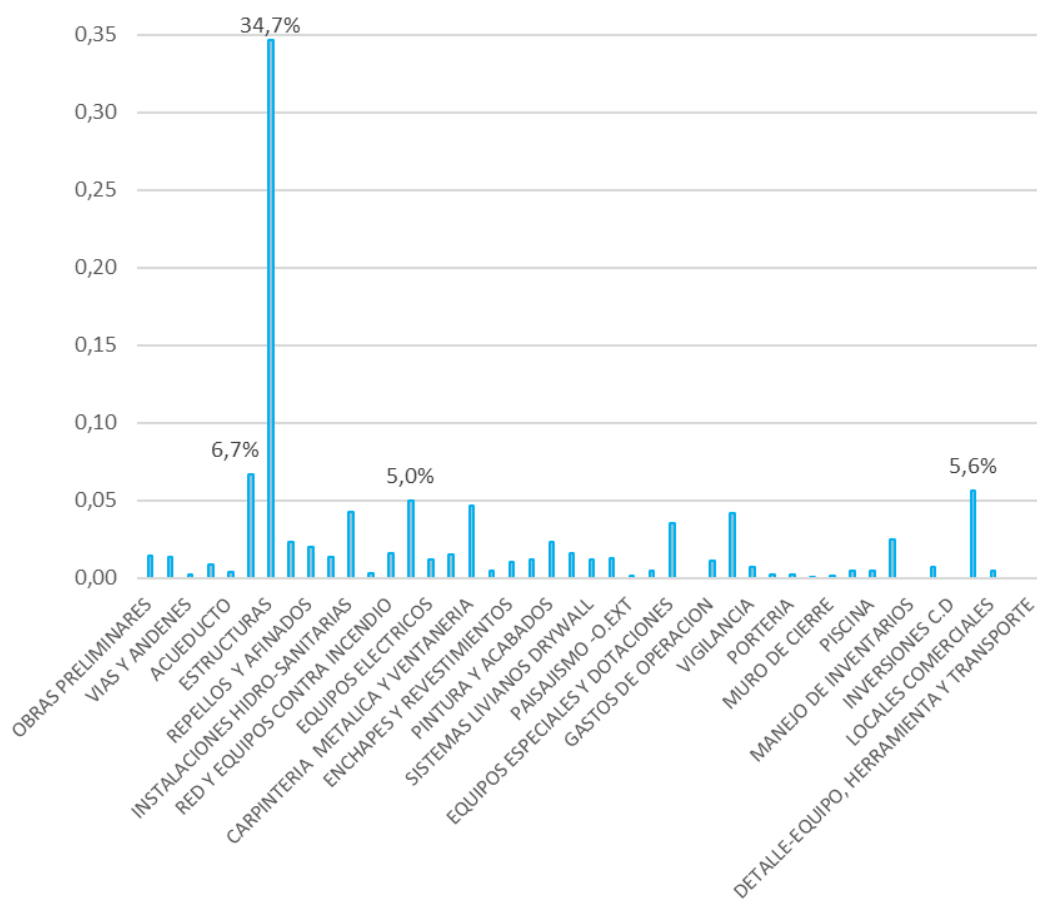


Figura 2.5. Porcentaje por capítulo en los costos directos en la obra de la constructora TG.
Fuente: Elaboración propia.

Aun cuando se agrupan estos capítulos en categorías más generales (ver Figura 2.6) se encuentra que la estructura continúa siendo el factor con mayor porcentaje de costos directos sobre la obra.

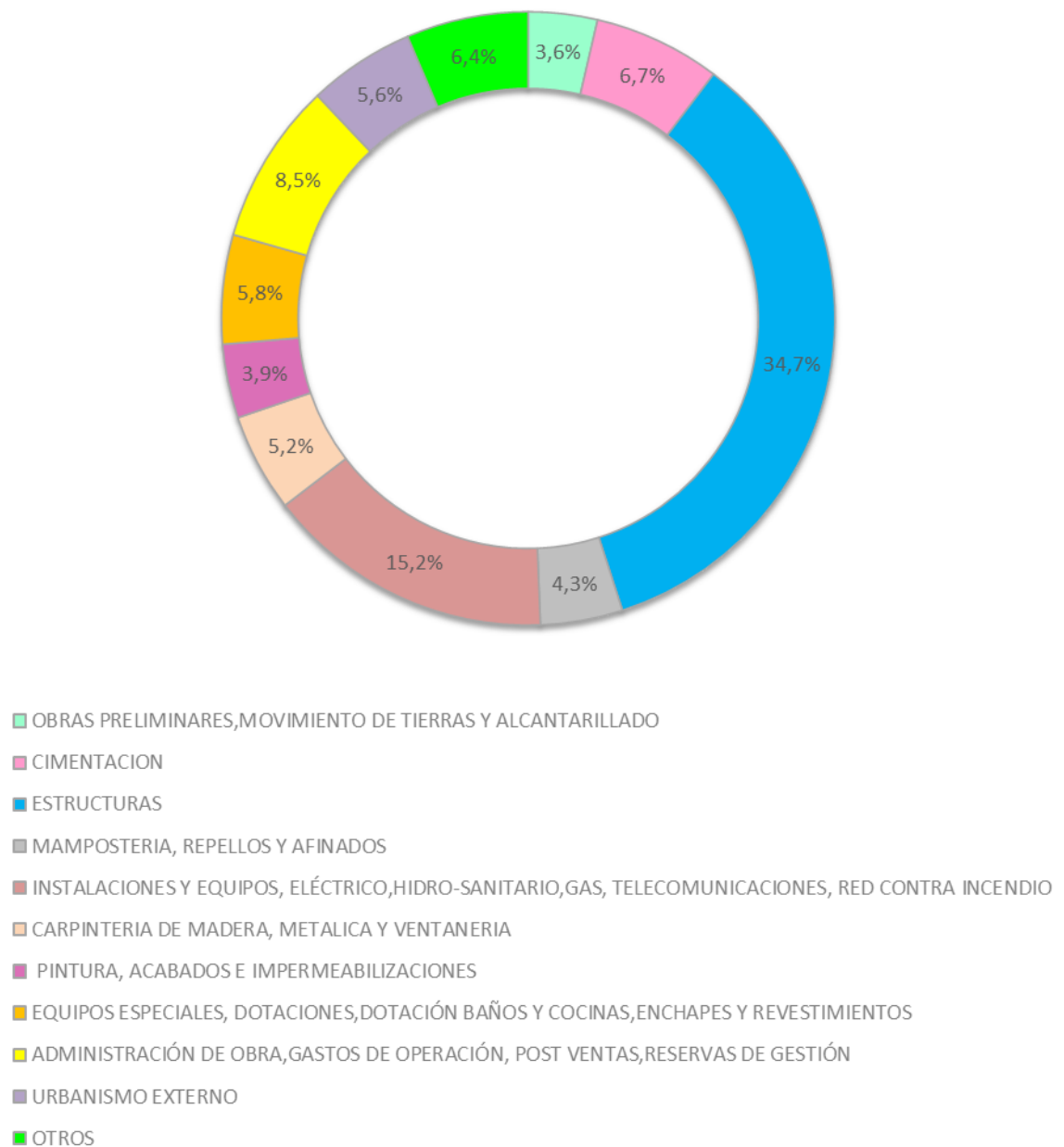


Figura 2.6. Porcentajes de los costos directos de la obra de la constructora TG.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2.7 se presentan los elementos que conforman los costos directos en relación con la estructura. El sistema monolítico conlleva la fundición de la losa maciza, y de los muros en concreto incluyendo el refuerzo (acero y malla electrosoldada) y la formaleta, por lo cual se alcanza un equivalente al 77% (ver tonalidades de azul, Figura 2.7) de la estructura al realizar la fundición, donde el mayor porcentaje es representado por los muros en concreto reforzado.

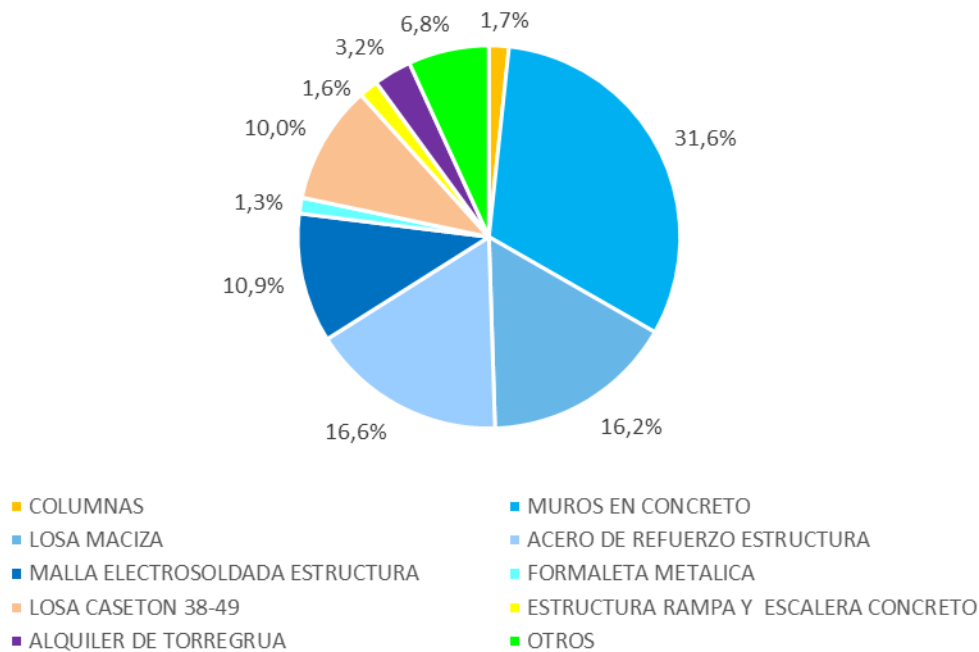


Figura 2.7. Porcentajes de los costos directos de los elementos de la estructura de la obra de la constructora TG.
Fuente: Elaboración propia.

Con base al seguimiento realizado, se encontró que la actividad muros en concreto reforzado, en una edificación con el sistema semi industrializado, hace parte de la ruta crítica en el proceso de construcción.

Además, la actividad muros en concreto reforzado se caracteriza dentro del sistema semi industrializado, por ser repetitiva desde el primer nivel hasta el último y es un indicador de rendimiento de obra, ya que la meta es fundir un número determinado de apartamentos por día, al ser un sistema de fundición monolítico, se vuelve una actividad fundamental a controlar en el desarrollo del proyecto.

Por las razones mencionadas, se selecciona la actividad de muros en concreto reforzado como objeto de análisis del presente trabajo.

CAPITULO III

Análisis de las operaciones en el desarrollo de la actividad seleccionada

Teniendo en cuenta la caracterización realizada, a partir de la obra visitada de la *Constructora TG*, se definió *muros en concreto reforzado* como actividad crítica del proceso de construcción a la cual se le realizará el análisis.

Para esta actividad, se realizaron recorridos en obra (Paseo Gemba) donde se identificaron y definieron las operaciones clave tanto constructivas, como de abastecimiento y se presentó la respectiva secuencia para cada tipo de operaciones. También se evidenciaron los diferentes problemas asociados al proceso de abastecimiento que se presentan en el desarrollo de esta actividad, haciendo uso de herramientas como la prueba de los 5 minutos y un levantamiento con dron, los cuales permiten identificar las oportunidades de mejora en el proceso de abastecimiento de la actividad seleccionada.

3.1. Operaciones constructivas

Las operaciones constructivas, en general son aquellas que permiten llevar a cabo actividades de construcción según las especificaciones y normas técnicas y legales correspondientes, de acuerdo con los diseños. Para la actividad crítica seleccionada, *muros en concreto reforzado*, las principales operaciones constructivas son: El cimbrado, el armado en acero, las instalaciones, el encofrado, la fundición y el desencofrado. En la Figura 3.1, se puede observar el mapa de flujo de valor, en el que se identifican estas operaciones y su secuencia. Vale la pena mencionar que cada operación tiene una persona responsable, y que, para inspeccionar, el residente tiene el apoyo de un ingeniero auxiliar, el encargado de obra, y también se encuentra la interventoría, esto con el fin de estar al tanto de todas las operaciones constructivas y evitar que algún error pase desapercibido.

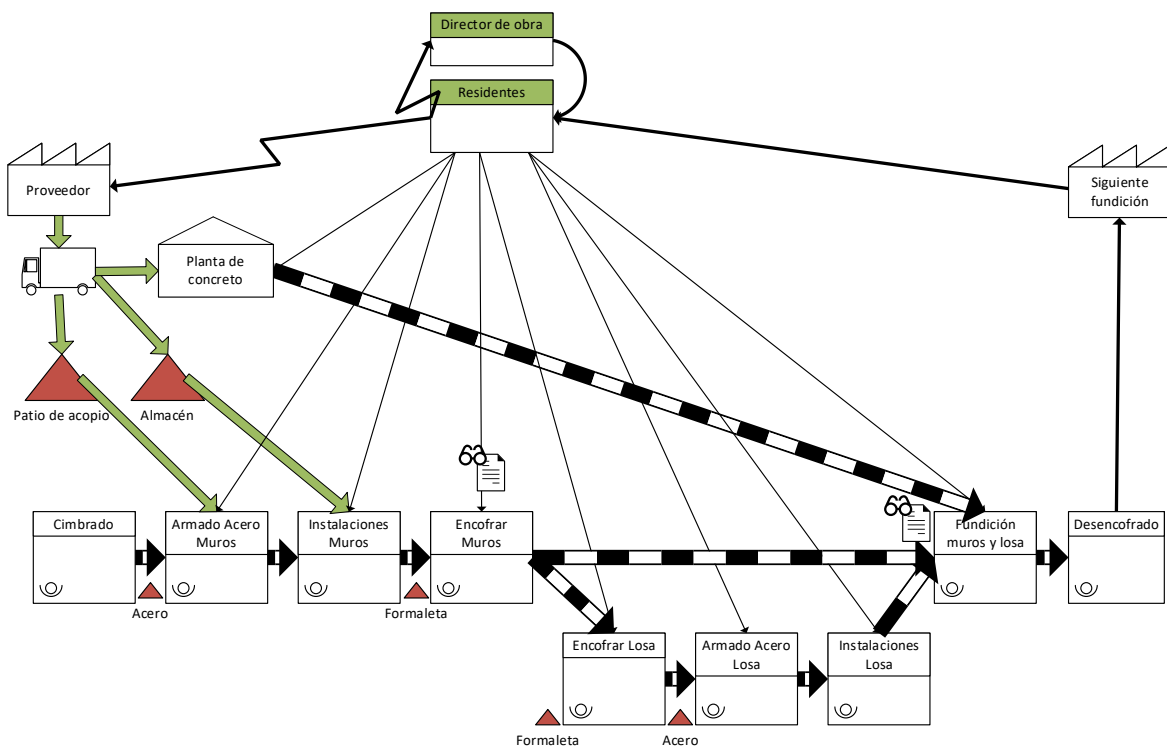


Figura 3.1. Secuencia de operaciones constructivas.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. Cimbrado

El cimbrado consiste en trazar sobre la cimentación, las losas y los muros con una cimbra, las líneas que servirán de guía para para la colocación de la formaleta de los elementos que se van a fundir y de esta manera controlar la alineación y verticalidad de la estructura. El personal encargado de esta operación (trazador), recibe puntos materializados por topografía, y tiene la función de trazar las líneas de los ejes, muros y demás que sean necesarias, para garantizar que la estructura quede con la alineación y las dimensiones de acuerdo con los diseños.

3.1.2. Armado de acero

El armado de acero consiste en realizar todas las acciones necesarias para la instalación del acero en cada uno de los elementos de acuerdo con las especificaciones y diseño estructural. Los herreros son los encargados de realizar esta operación, deben transportar el acero desde el acopio hasta el punto de uso y amarrar las mallas a los aceros de arranque hasta completar todos los muros y las losas. Esta operación se realiza para muros y para losa maciza en la secuencia que se puede ver en la Figura 3.1.

3.1.3. Instalaciones (eléctricas, de gas, hidrosanitarias y demás servicios)

En esta operación se dejan instalados todos los elementos que van embebidos en la estructura de muros y losa (tuberías, cajas, accesorios). La cuadrilla encargada de esta operación tiene los planos de las instalaciones, con los cuales arman algunas preformas, ellos ingresan a realizar su actividad después del armado del acero, para poder sujetar los elementos a la malla de refuerzo y así evitar que estos se desplacen en el momento de la fundición, además para no interferir en el desarrollo de la actividad de armado de acero. Esta operación se realiza para muros y para losa maciza en la secuencia que se puede ver en la Figura 3.1.

3.1.4. Encofrado

Antes del encofrado, es necesario realizar una inspección al acero, para garantizar el cumplimiento de las especificaciones y diseños, también se instalan los separadores que garantizan la correcta posición de la malla y su recubrimiento. Una vez se revisan y aprueban las instalaciones y el armado de acero, se procede a instalar la formaleta, de acuerdo con el plano de modulación, el cuál es repetitivo durante todos los pisos, lo que agiliza el proceso. Para realizar esta operación, es necesario trasladar los paneles desde el acopio hasta el punto donde se va a instalar, se aplica el desmoldante y se procede a realizar el montaje, usando todos los accesorios necesarios para garantizar la correcta instalación, alineación, aplomado y estabilidad durante la operación de fundición.

El personal que realiza esta operación (lateros), debe estar capacitado y tener la experiencia para realizar el montaje y ensamble de manera rápida y correcta. El manejo de los paneles, accesorios y herramientas debe ser ordenado y agrupado de acuerdo con el tipo y la dimensión. Esta operación se realiza para muros y para losa maciza en la secuencia que se puede ver en la Figura 3.1.

3.1.5. Fundición

Antes de realizar el vaciado del concreto, se inspecciona el alineamiento, los accesorios, la verticalidad y el nivel del encofrado, para garantizar la correcta instalación de la formaleta y poder iniciar la fundición. La operación de fundición en el sistema monolítico inicia con el vaciado del concreto en los muros, realizando el vibrado externo e interno para eliminar el aire, y posteriormente se realiza el vaciado de losa, vibrado y acabado final. En el momento de la fundición se debe retirar con agua los restos de concreto que quedan en la parte exterior de los paneles.

El concreto es suministrado a través de tubería, o mediante el balde de la torre grúa, desde la planta de concreto que está ubicada en la obra hasta el punto de colocación.

3.1.6. Desencofrado

Posterior al proceso de fundición, se debe realizar el desencofrado, el cual consiste en retirar todos los elementos de la formaleta, hacer limpieza, ordenarlos y llevarlos al punto de la siguiente fundición para su nuevo uso.

En este proceso se deben revisar los elementos, para determinar si alguno tiene daños y corregirlo o cambiarlo. Se debe tener cuidado y usar las herramientas apropiadas para no dañar los elementos y accesorios que componen el sistema de encofrado.

3.3 Operaciones de abastecimiento

En el capítulo 2 se determinaron las operaciones de abastecimiento existentes en el proceso constructivo: Planificación de la logística; Realización de compras; Requisición de materiales; Recepción de materiales; Almacenamiento; Realización de entregas; Solicitud de materiales; y Distribución. Paralelo a todas las anteriores, las operaciones de: Comunicación; Verificación y seguimiento, y acciones correctivas.

Para la actividad critica seleccionada, *muros en concreto reforzado*, se presenta el siguiente mapa de flujo de operaciones logísticas, en el cual se puede detallar con mayor claridad el funcionamiento del proceso de abastecimiento.

En la Figura 3.2, se observa que el punto de producción es el proveedor del proceso de abastecimiento, ya que crea la necesidad de materiales a través de una requisición, lo que activa el inicio del ciclo de operaciones de abastecimiento. Este ciclo termina cuando los materiales llegan al punto de producción.

En el ciclo, no se presentan la operación de planificación de la logística debido a que esta solo ocurre al inicio, previa al ciclo. Por otro lado, no fue posible mapearla porque es una actividad que programan los residentes, el director de obra y el área de compras, basados en la experiencia y las bases de datos que tiene la empresa, definido de acuerdo al tipo de proyecto que se va a realizar. Es una operación Ad hoc.

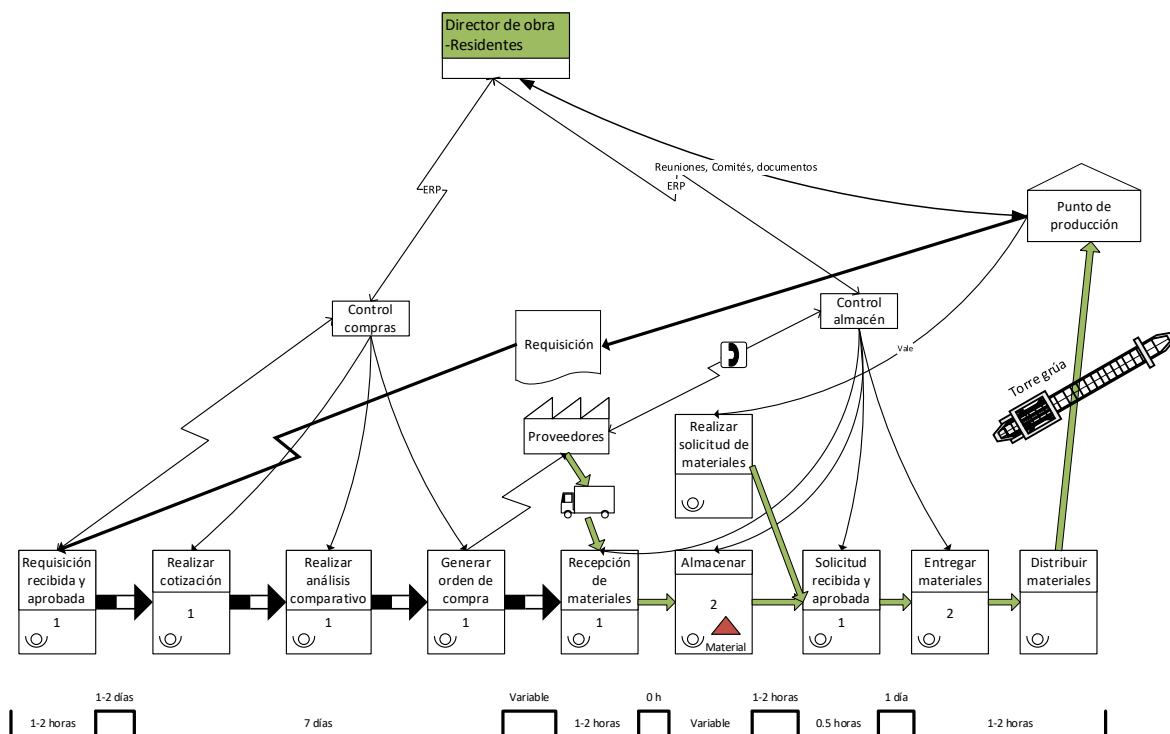


Figura 3.2. Secuencia de operaciones de abastecimiento.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.1, se representa cómo se desarrollan las operaciones logísticas dentro de la actividad en estudio, se puede observar el proveedor, las entradas, las salidas y el cliente de cada operación. Estos datos ayudan a comprender el flujo y cómo la salida de una operación, se convierte en la entrada de otra. De esta manera se agrega valor al proceso de abastecimiento con el objetivo de suplir las necesidades de material en cada punto de producción de manera eficiente y eficaz y en el momento correcto.

Tabla 3.1. Matriz de operaciones de abastecimiento
Fuente: Elaboración propia.

Nombre del proceso	Abastecimiento actividad muros en concreto reforzado			
Responsable	Director de obra/Residente			
Objetivo del proceso	Proporcionar y mantener el flujo ininterrumpido de suministros necesarios en todos los frentes de producción de manera eficiente y eficaz			
Alcance	Este proceso inicia desde la planificación de los suministros necesarios hasta su colocación en el punto de producción.			
Proveedor	Entradas	Operación	Salidas	Clientes
Siguiente fundición	Programa	Planificación de actividad	Necesidad de materiales	Residente de obra

residente de obra	*Programa de obra *Información sobre necesidades	Solicitud de materiales	Vale	Almacén
Almacén	Vale	Realización de entregas	Materiales	Contratista
Contratista	Materiales	Distribución	Material en el punto de producción	Contratista
Almacén	Recepción de materiales	Almacenamiento	Inventario actualizado /Disponibilidad de materiales	Almacén
*Proveedor *Compras	*Orden de compra *Especificaciones del material *Materiales *Facturas	Recepción	Ingreso de materiales a inventario	Almacén
Compras	*Resultados del análisis comparativo *Requisición	Realización de compras	Orden de compra	Proveedor
Compras	*Cotizaciones *Requisición	Análisis comparativo	Resultados del análisis comparativo	Compras
Compras	Requisición	Cotización	Cotizaciones	Compras
*Residente de obra *Almacén	*Programación de obra *Presupuesto	Requisición	Requisición aprobada	Compras

3.4 Problemas encontrados

En la investigación se observaron diferentes situaciones que generaban problemas, las cuales se identificaron y se presentan en cada operación de abastecimiento identificada:

Planificación de la logística

- Fallas en el diseño del layout

Para este proyecto se encuentra que el espacio planeado para la ubicación del acero no fue suficiente, lo que ocasiona ocupación de espacios e interferencias con el desarrollo de las actividades constructivas, esto genera excesivo movimiento de materiales y daños a causa de esto.

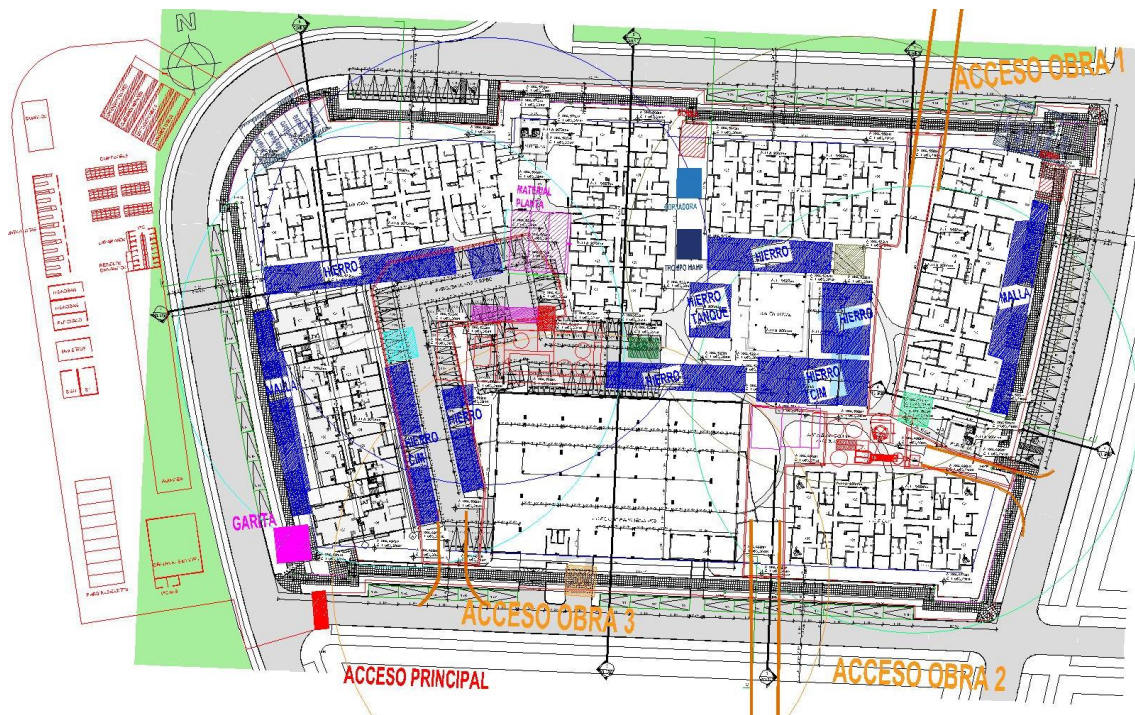


Figura 3.3. Layout de obra.
Fuente: Constructora TG.

En la Figura 3.3 se puede observar lo que se hace en el área de planeación respecto a la planeación de logística de la obra, con los planos de las edificaciones, se decide la ubicación de las torres-grúa (las circunferencias), se ubica el almacén y las oficinas (parte izquierda de la figura, todo lo que está en rojo), la ubicación de las plantas de concreto y el acopio de agregados pétreos para estas (color magenta), los accesos a obra y la zona de circulación vehicular, el punto de desechos y los espacios para ubicar el acero (azul oscuro).

Para mostrar cómo se materializó la ubicación de las instalaciones en obra, se realizó un ortomosaico, haciendo uso de un dron DJI- Mavic Air, con el cual se realizó un vuelo para la adquisición de imágenes, posteriormente se procesan usando el programa Agisoft, donde en términos generales, se rectifican para eliminar la distorsión y luego se unen formando un mosaico, dando como resultado lo siguiente;

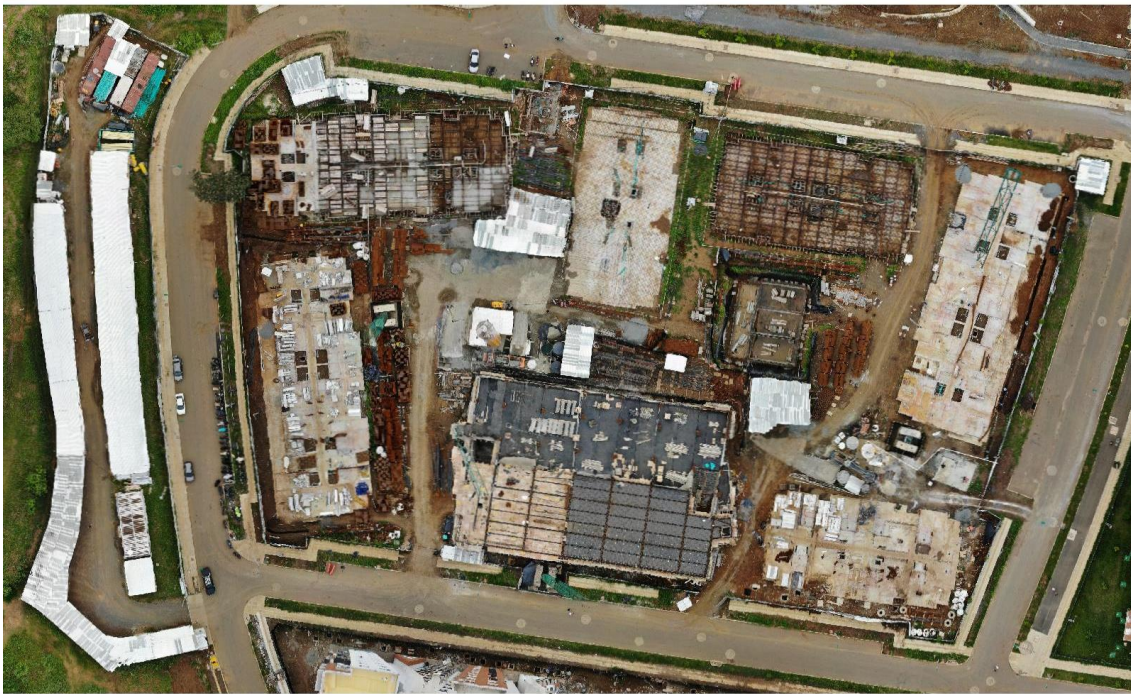


Figura 3.4. Ortomosaico.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.4 se presenta el ortomosaico, producto de las imágenes ortorectificadas que se unen y nos permiten obtener detalles en planta de las instalaciones y los espacios que tiene el proyecto, además de permitir hacer medidas sobre este. Posteriormente se sobrepone la Figura 3.3 sobre la Figura 3.4 con el fin de realizar una comparación de lo planeado con lo ejecutado, dando origen a la Figura 3.5.

En la Figura 3.5, se puede observar que en general, la ubicación de las instalaciones coincide con lo planeado, pero hay un detalle y es el espacio para la ubicación del acero, el cual no es suficiente.

Las áreas señaladas en azul eran las planeadas para ubicar el acero, estas se usaron todas y fue necesario usar otros espacios, estos se clasifican en dos; los señalados en verde, que no interfieren con las actividades constructivas y los señalados en rojo, que, si interfieren con actividades constructivas, ya que se ubican sobre la estructura de algunos edificios.



Figura 3.5. Superposición de layout sobre ortomosaico.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.6 se puede evidenciar la problemática mencionada, al ubicar las mallas en puntos donde causa interferencias.



Figura 3.6. Almacenamiento de acero.
Fuente: Elaboración propia.

- Deficiencias en la planificación de los espacios y las instalaciones de almacenamiento.

Esta situación genera problemas en la operación de almacenamiento, pero se debe a que en la planificación no se especifica la cantidad de estanterías necesarias, se agotan y cuando llega el material, se debe almacenar ubicándolo horizontalmente.



Figura 3.7. Almacenamiento vertical de mallas
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.8. Almacenamiento horizontal.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.9. Instalaciones de almacenamiento de acero.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.9 se puede observar que no hay suficientes estanterías para dejar la malla, lo que ocasiona que se deje horizontalmente, ocupando más espacio de esta manera.

- Inexactitud en el presupuesto de compras

De acuerdo con las entrevistas con el director de obra y los residentes, las cantidades exactas de los materiales se obtienen cuando el proyecto ha iniciado su fase de construcción, por esta situación no se hace una planeación de materiales exacta y lo que se hace es sacar las cantidades a momento de iniciar la ejecución y comparar con el presupuesto, si es menor se tiene un ahorro y si es mayor se debe realizar orden de cambio para suplir esta diferencia.

Para realizar la primera compra de materiales, se realiza una reunión entre el director, residente y el área de compras, para hacer los pedidos con la anticipación necesaria para garantizar que los materiales lleguen justo antes del inicio del proyecto, posteriormente es responsabilidad del residente de obra planificar los pedidos de materiales de acuerdo con el avance de obra y a su programación.

Realización de compras

- Falla del proveedor

Con el acero se tiene una situación común en la industria de la construcción colombiana y es el incumplimiento de los proveedores de este material con las fechas de entrega. En esta constructora se han retrasado hasta en 2 meses en la entrega de un pedido, razón por la cual se ha tomado la determinación de ordenar todo el acero del proyecto en sólo 2 pedidos. Lo que genera una gran cantidad de material, demanda un mayor espacio de almacenamiento y baja el indicador de rotación de inventario.

Recepción de materiales

- Procesos de carga/descarga no definidos

De acuerdo a lo expresado en las otras operaciones, la gran cantidad de acero en obra, lleva a problemas como que al no tener suficiente espacio para ubicar el acero, se recibe y se pone en algún sitio que interfiere con otras actividades, lo que causa pérdidas por mayores desplazamientos o por movimiento excesivo de materiales.

Almacenamiento

- Poco espacio de almacenamiento

Esta situación es muy común para el acero, al tener exceso de este material, se genera manejo innecesario de materiales y reubicaciones.

- Control inadecuado sobre los materiales

Otro problema con el acero es que no se controla la entrega, no hay vales para entregarlo, por lo que los trabajadores lo toman del punto de almacenamiento cuando lo necesitan, buscando el punto más cercano, en ocasiones usando el acero de otra actividad, causando errores, pérdidas y desorden. Esta falta de control impide realizar una trazabilidad correcta a este material, y si hay una pérdida o faltante, no se muestra sino hasta el final del lote almacenado.

- Exceso de materiales en sitio
- Inadecuada ubicación de materiales

Solicitud de materiales

- Solicitudes a través de vales en papel, los cuales no tienen copia y se pueden perder fácilmente, además de que los encargados de esto deben desplazarse hasta donde esté el residente para que la autorice y luego hasta el almacén a entregarla.

Realización de entregas

- Mano de obra desperdiciada buscando materiales

Esta situación se presenta mayormente en el proceso de búsqueda de los paneles de las formaletas metálicas que se usan en el sistema constructivo semi industrializado, se observa a los trabajadores buscando paneles y midiendo con

un metro para seleccionarlos, además de tardarse realizando esta actividad, los desordenan aún más.



Figura 3.10. Desorden en la ubicación de materiales
Fuente: Elaboración propia.

- Desorden en entrega y ubicación de materiales

El acero no tiene una entrega ordenada, no se controla y registra con vales cada que se usa y en ocasiones gastan el acero en actividades diferentes a las que está planeado.

Distribución

- Interferencia y congestión causado por exceso de materiales
Esto se presenta tanto para el acero como para los paneles de las formaletas, las cantidades excesivas de materiales en los puntos de producción o alrededor de estos, interfieren y causan congestión al momento de realizar la distribución y de ejecutar las operaciones constructivas.
- Ocio y desplazamiento por traslado de materiales
La falta de control sobre las operaciones de distribución genera desplazamientos de largas distancias y ocio mientras se desarrollan estos desplazamientos.

Comunicación

- Manejo inadecuado de la información
La información desde el frente de producción hacia el sistema de abastecimiento se sigue presentando de forma manual, a través de los vales de entrega. Esto genera demoras, desplazamientos innecesarios, y operaciones innecesarias como la transcripción de estos por parte del área

de almacén. También impide que los inventarios estén actualizados, ya que se hacen entregas y no se verán reflejadas hasta que los vales no sean transcritos al sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés).

Actividades de verificación, seguimiento y acciones correctivas

- Pobre o inadecuada programación, coordinación y/o control del proceso de abastecimiento.

El proceso de abastecimiento tiene un seguimiento desde el punto de vista de costos en general, pero no se verifica la eficiencia, no hay un control de cada uno de los procesos ni indicadores que permitan tomar medidas y realizar un seguimiento a través del registro de estos datos.

Análisis del desarrollo de dos operaciones constructivas de la actividad seleccionada

En el proceso de observación del desarrollo de las operaciones constructivas de la actividad muros en concreto reforzado, se identificaron dos operaciones en las que se presentaba una mayor variación del flujo de trabajo, estas son armado de acero y encofrado, por tanto se realizó la prueba de los 5 minutos, obteniendo los siguientes resultados:

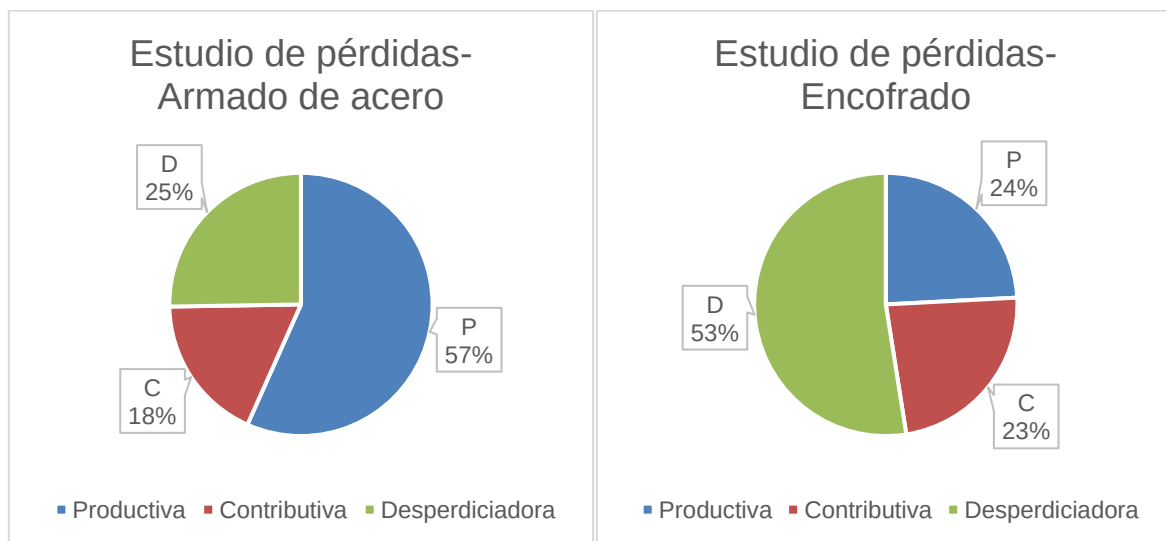


Figura 3.11. Estudio de pérdidas
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.11 se muestra que para las operaciones de armado de acero y encofrado se presenta un alto porcentaje de tiempo en actividades desperdiciadoras. Para cada una de estas se presenta la siguiente distribución del tiempo en las actividades que las generan:

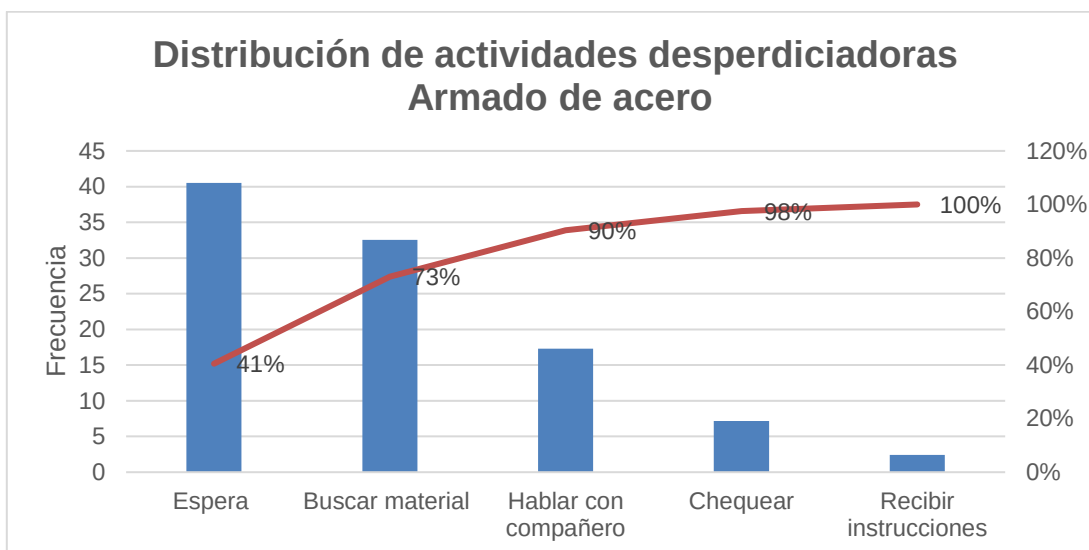


Figura 3.12. Distribución de actividades desperdiciadoras en el armado de acero
Fuente: Elaboración propia.

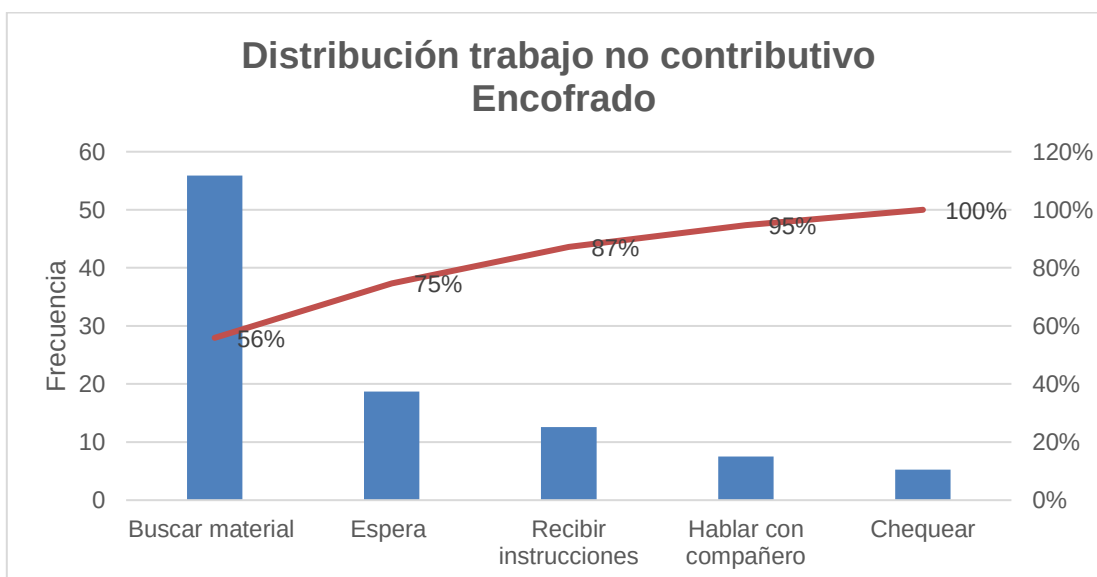


Figura 3.13. Distribución de trabajo no contributivo encofrado
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 3.12 y la Figura 3.13 se puede concluir que las actividades desperdiciadoras más frecuentes son las esperas y la búsqueda de materiales,

alcanzando hasta un 75% de las pérdidas entre las dos, esto se debe a que en estas dos operaciones no se tiene definido el proceso de entrega de materiales, lo que genera desorden y pérdidas de tiempo, afectando la productividad del proceso constructivo.

Con todo lo anteriormente descrito, se puede identificar que, en esta actividad crítica, se continúa presentando un bajo nivel de productividad laboral, y que esto se debe en gran medida a problemas causados por el proceso de abastecimiento que no está correctamente organizado y articulado con las actividades técnicas de los puntos de producción.

CAPITULO IV

Estructuración de un plan de logística básico para el abastecimiento de insumos en la actividad seleccionada.

A partir de la actividad seleccionada, *muros en concreto reforzado*, se propuso una metodología de apoyo para el abastecimiento al punto de producción en la cual se tuvieron en cuenta los problemas encontrados en la referenciación bibliográfica y en la visita a obra, los cuales se representaron a través de las causas raíz encontradas en el diagrama de Ishikawa o espina de pescado y la matriz de Vester.

Con los problemas identificados en la actividad critica seleccionada, (ver capítulo 3, apartado 3.4), se encuentra que estos hacen parte de los problemas consignados en la literatura (ver capítulo 2 apartado 2.1.5), evidenciando que a pesar de que estos problemas han sido detectados, aún no se les brinda una solución, por lo que siguen presentándose. Se procedió entonces a estructurar un plan logístico básico para el abastecimiento de insumos de la actividad seleccionada, el cual se propuso de acuerdo con las operaciones que se identificaron en el capítulo 2, definiendo los factores más importantes dentro de un sistema de abastecimiento y señalando las herramientas que se pueden usar para gestionar adecuadamente cada una de las operaciones del proceso de abastecimiento.

Al realizar el análisis de Vester se identificó que la mayoría de los problemas a priorizar se encuentran en la planificación. Teniendo en cuenta las entrevistas realizadas y las visitas a obra, se encontró que la operación de almacenamiento presenta varios problemas, los cuales también surgen debido a una mala planificación de los espacios de almacenamiento.

Se puede concluir entonces, que la logística en las obras de construcción no se está planificando adecuadamente. Dado lo anterior, se realiza una propuesta metodológica enfocada en la planificación, en la cual se consideren los puntos críticos que se identificaron en el desarrollo de las operaciones logísticas.

4.1. ESTRUCTURACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Ping, Yin y Li (2006) recomiendan que para desarrollar un sistema de planificación de la cadena de suministro de recursos en proyectos de construcción se debe realizar una mejora sobre todos los integrantes del sistema de abastecimiento y no sobre un solo actor, de lo contrario el problema solo se trasladará de lugar, pero no se eliminará.

Basado en lo anterior, se ratifica que la logística se debe analizar de manera sistemática, ya que en este proceso se integran tanto áreas internas como externas a la empresa, y para optimizar este proceso no es suficiente con mejorar partes aisladas, se debe dar un enfoque integrado. Por esta razón, se necesita una administración que visualice, integre y coordine efectivamente todos los actores del sistema. Lo anterior se podría llevar a cabo mediante la definición de un área que sea responsable de la logística, la cual se convierte en un elemento fundamental de un proyecto de construcción, bajo el establecimiento de roles responsables de la integración del sistema logístico a lo largo de todo el desarrollo del proyecto.

Al darle un enfoque sistémico a la logística en un proyecto de construcción, se aplica el principio de la compensación, donde se requiere un aumento en los costos de alguna operación a cambio de reducir el costo total del sistema. Además, la logística se debe gestionar integrada al área de producción y las actividades de obra (Vieira, 2006). Por tal razón, el proceso de abastecimiento debe programar **el uso del espacio**, el **suministro de materiales** y **los equipos necesarios** para esto, además de **controlarlo**, **coordinar** con el área de producción a través del **flujo de información** necesario para garantizar el suministro de materiales de manera eficiente y eficaz.

Por lo anteriormente expuesto, se decide realizar una contextualización del sistema de abastecimiento, las herramientas y las recomendaciones para implementar un plan logístico básico de abastecimiento de insumos. Este se desarrolla siguiendo las operaciones logísticas identificadas en el capítulo 2, a la cual se le agrega una nueva operación; Planificación de los materiales.

Esta operación se viene ejecutando de manera implícita en la planificación de la logística, pero en vista de su importancia, se establece como una operación independiente. En ese mismo sentido, la planificación de la logística hace referencia a la definición de espacios, equipos y mano de obra, mientras la planificación de los materiales hace referencia únicamente a los insumos.

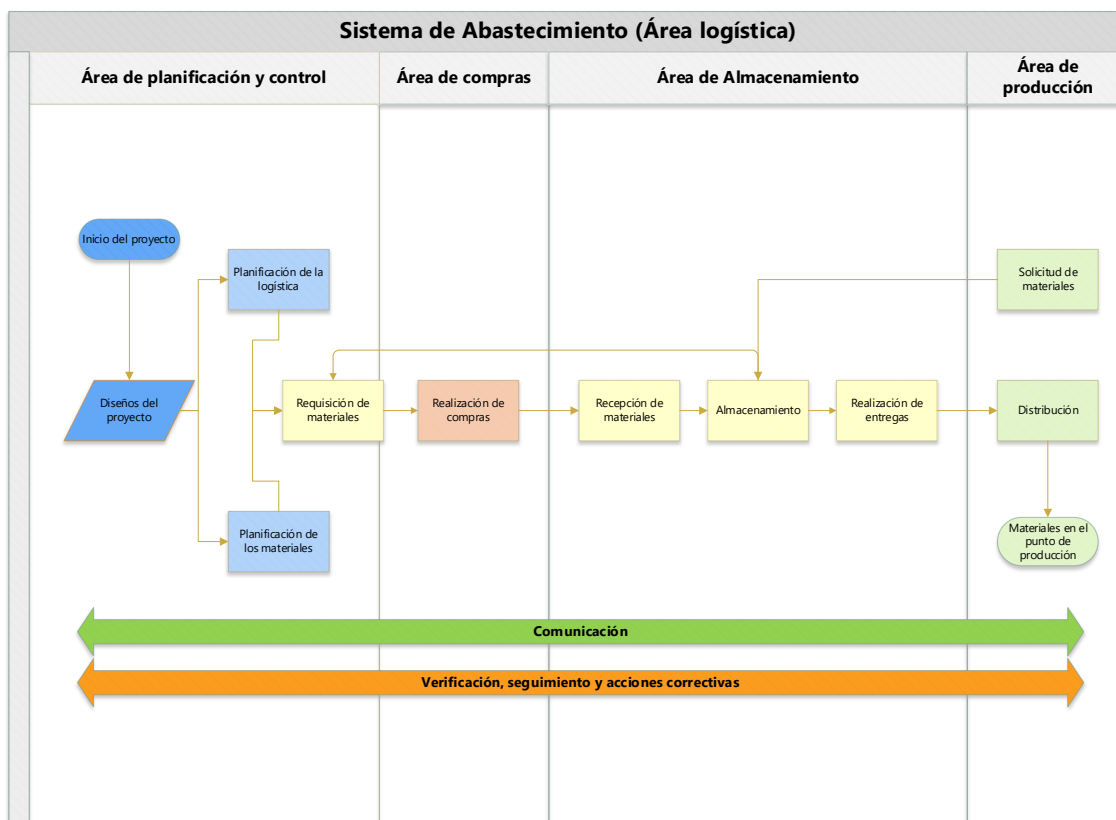


Figura 4.1. Esquema propuesto del sistema de abastecimiento
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.1 se presenta el esquema del sistema de abastecimiento, en el que se agrega una nueva operación; planificación de los materiales. La cual tiene por objetivo diseñar un plan de abastecimiento de los materiales necesarios, especificando cantidades, fechas, requerimientos y aclaraciones técnicas de acuerdo con lo definido en el presupuesto y la logística necesaria para la ejecución de la obra. En el Anexo A.6. *Matriz de caracterización de las operaciones de planificación de logística y materiales*, se presenta el desglose de la operación de planificación de la logística en dos operaciones: planificación de la logística y planificación de materiales.

A continuación, se realiza una conceptualización de los factores más relevantes, herramientas y sugerencias sobre cada una de las operaciones identificadas en el sistema de abastecimiento, con el fin de ser tenidas en cuenta para la estructuración de la metodología.

4.1.1 Planificación de la logística

La planificación de la logística es una operación fundamental de acuerdo con el análisis de los problemas encontrados. Partiendo de esto, se especifica que en este punto se debe analizar todo el proyecto como un sistema, por lo cual es necesario conocer el contexto y el entorno del proyecto de construcción, ya que cada uno responde a diferentes particularidades. Posteriormente se deben analizar los recursos que se usarán; materiales, recursos humanos, equipamientos y herramientas, y el sitio.

En la Figura 4.2, se presenta la relación entre el área de producción y la logística. Se puede observar que el sitio y los materiales son dos recursos en común entre ellos, por lo cual se deben planificar en conjunto.

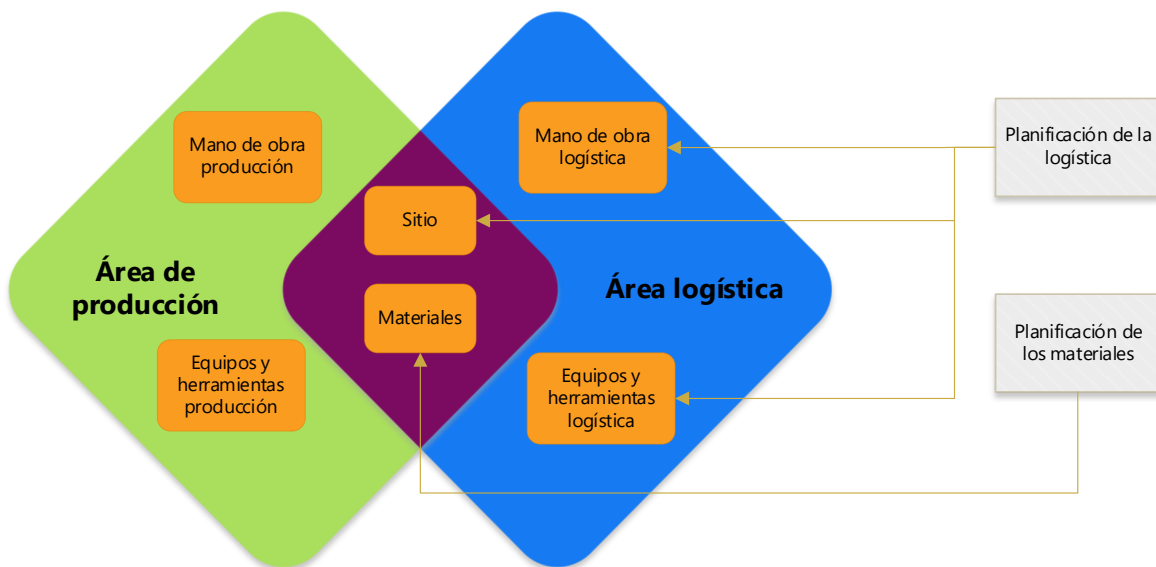


Figura 4.2. Intercepto entre el área de producción y área de logística
Fuente: Elaboración propia.

Es importante que la planificación de la logística y de los materiales estén vinculadas a una detallada planificación de las actividades constructivas del proyecto, enmarcadas en un entorno como el Lean, donde la prioridad sea eliminar las pérdidas y agregar valor, generando confiabilidad del flujo de trabajo. Solo de esta manera se puede alcanzar el nivel de detalle requerido en este punto.

4.1.1.1 Herramientas de gestión

La implementación de nuevas tecnologías en la planificación trae resultados positivos. Según Gomez, Granados y Pérez (2015) herramientas como la simulación en la etapa de planificación de los proyectos conlleva a una mayor inversión inicial y una mayor duración de esta etapa, sin embargo, permite obtener beneficios que superan los costos de inversión iniciales ya que aumentan la eficacia en el uso de los recursos. Es sumamente importante el uso de herramientas que permitan desarrollar una gestión eficiente.

El sistema de planificación y control de producción de proyectos Last Planner System (LPS) es una de las principales herramientas para mitigar los factores que generan retrasos y aumento de los costos en los proyectos de construcción, ya que procura crear un flujo de trabajo que logre una ejecución confiable, "basado en el compromiso que integra la planificación del deber-se puede-se hizo: planificación de extracción, planificación anticipada de preparación con análisis de restricciones, planificación del trabajo semanal basada en promesas confiables y aprendizaje basado en el análisis del porcentaje del plan completado(PPC) y razones de la variación" (Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón, 2020).

Según Power, Sinnott y Mullin (2020) los mayores beneficios de usar LPS surgen de la recopilación y el examen semanal de las razones de no finalización, esto también se puede implementar en las operaciones logísticas ya que se alcanza una mayor visibilidad del flujo de trabajo, lo cual es beneficioso para el sistema de abastecimiento, permite la identificación de problemas e implementación de mejoras y genera una mayor colaboración entre los participantes del proyecto.

Sears, Sears y Clough (2008) mencionan que una planificación detallada es la clave del éxito en un proyecto de construcción, para esto, proponen pasar de una planificación macro a una micro, en la que se detalle y se establezca el método de trabajo de cada actividad, se asigne el personal, los equipos y movimientos de materiales para el punto de producción. Pinzón y Galvis, (2011) también identifican la necesidad de establecer un sistema de gestión de recursos para los puntos de producción en el cual se especifiquen y asignen los elementos necesarios para cada uno de los puntos de producción, evitando conflictos y esperas por los recursos.

Lo anterior hace referencia a que es necesario agregar una capa de planificación de la producción y la logística a nivel de sitio, con el fin de alcanzar un mayor nivel de detalle en la planificación y menos errores al momento de la ejecución (Ghanem et al., 2018).

Es importante tener en cuenta que, para iniciar el proceso de planificación de la logística, es necesario realizar un análisis y comprensión de la información del proyecto (antecedentes), para ello son necesarios e indispensables, elementos como los planos definitivos, estructura de descomposición del trabajo (EDT), presupuesto, análisis de precios unitarios, cronograma de obra con rendimientos reales. Esta información completa y definida con un buen nivel de precisión, permite dar paso al desarrollo de un análisis logístico con personal competente y capacitado para realizar la planificación de la logística (encabezado por el residente de logística), la cual debe hacerse de manera conjunta a otras actividades de la planificación general del proyecto, tomando en cuenta las opiniones y sugerencias de actores del área de producción, compras y almacenamiento, con el fin de elaborar una propuesta en beneficio de todo el sistema.

Definir roles en el proceso de abastecimiento

De acuerdo con el análisis realizado, donde se pudo identificar que una de las causas principales de los problemas en el sistema de abastecimiento es la ausencia del área de logística y falta de procesos definidos, se propone crear roles ya que son necesarios para poder implementar y controlar la metodología.

Por lo tanto, es necesario que haya un **residente de logística**, responsable de todo este sistema de abastecimiento y realice el enlace entre las áreas de planeación y control, compras, almacén y el punto de producción. Además, debe verificar los indicadores, con los cuales se mide el funcionamiento del sistema, con el fin de mantenerlos en los rangos permitidos, analizar los que se desvían y junto al equipo, hacer las propuestas de mejora, implementarlas y controlarlas. Esto con el fin de lograr los objetivos usando el mínimo de recursos.

Así mismo se deben definir responsables de cada operación, con sus actividades correspondientes y se deben capacitar, para mantener involucrado al talento humano en el proceso de mejora continua y la cultura empresarial, dando como resultado un aumento en la eficiencia.

De acuerdo con lo mencionado, a continuación, se trata la planificación de la logística, con un enfoque en el sitio.

Planeando la logística de sitio

Un punto muy importante es la planificación de espacios, el diseño de layout, o diseño de sitio, donde según Vieira,(2006) se debe definir el tamaño, la forma y la ubicación de las áreas de lugares de trabajo fijos y temporales, y las rutas de tráfico

necesarias para la ejecución durante cada fase del trabajo, de forma integrada y evolutiva. Esta organización es fundamental para desarrollar eficiente y ordenadamente las actividades constructivas, ya que impacta la productividad, pues influye en el flujo de recursos como mano de obra, equipos y materiales y en los tiempos de viaje, además de ofrecer condiciones de seguridad a los trabajadores.

En este punto se tendrá que evaluar la necesidad de servicios públicos, comunicación de banda ancha (voz, video y datos), disposición y almacenamiento de materiales peligrosos o inflamables; analizar el número, tamaño y ubicación de campamentos de obra y el ingreso a estos; la ubicación de equipos pesados y grúas, el posible conflicto de grúas con cables de redes o edificaciones cercanas, las interferencias entre flujos de material y personas, costo de instalaciones, seguridad en el trabajo, flexibilidad y calidad en almacenaje (Sears et al., 2008). Además, se resalta que la seguridad se debe considerar e integrar en la planificación de todas las instalaciones del sitio, garantizando el bienestar de todos los trabajadores.

Dada la característica dinámica y evolutiva de los espacios para realizar el diseño del layout es importante recordar que, en un área de sitio limitado, el estado espacial cambia con frecuencia y es difícil capturar manualmente los cambios de ubicación en el tiempo. A medida que avanza la construcción, es posible que los diseños del sitio deban reconocerse dinámicamente en varios intervalos programados para adaptarse a los requisitos operativos (Li, Luo y Skibniewski, 2019). Estos intervalos se pueden definir estratégicamente como etapas del proyecto y de acuerdo con estas, se puede elaborar un plan que incluya los plazos, las necesidades y disponibilidades de espacio.

Para estas etapas mencionadas, se deben elaborar listas de los recursos necesarios (equipos, materiales y mano de obra), para analizar la relación entre ellos respecto a aproximación y compatibilidad y poder diseñar el sitio de trabajo. En el caso de los materiales, con estos datos y la frecuencia de entregas, se pueden estimar los picos máximos de almacenamiento, las áreas necesarias para esto y los equipos para el movimiento de los materiales.

Planeando el almacenamiento

Como ya se mencionó, uno de los puntos que se define aquí son los espacios y sus ubicaciones, cuando se analizan los espacios de almacenamiento, se deben considerar puntualmente los materiales de patio como son aceros y agregados pétreos. Después de hacer un plano donde estén todas las instalaciones necesarias, se puede contar con el espacio disponible para almacenamiento en patio. En ese espacio se debe planear como se va a distribuir la ubicación de los

agregados pétreos, el acero longitudinal y de la malla electrosoldada, para esto se debe tener en cuenta:

Para los agregados pétreos si el concreto se produce en obra, se definen los puntos donde se prepara y alrededor de estos se ubica el espacio para la grava y la arena.

Para el acero se definen los espacios en los alrededores del punto de uso, tomando en cuenta lo siguiente:

- Distancia al punto de uso, dejarlos cerca.
- Cantidad de acero y mallas
- Forma de almacenamiento (horizontal o vertical sobre estanterías)
- Forma como se va a almacenar (por piso, por tipo, por semana etc.) una recomendación es a través de herramientas de gestión visual, almacenar el acero por zonas (sala, cocina, baño, cuartos) ya que estas se repiten por apartamento, y los contratistas generalmente distribuyen el personal por zonas, lo que ayudaría a estandarizar procesos en el acopio y entrega de este material.
- Medio de transporte al punto de producción
- Cronograma de obra, ya que, de acuerdo con este, se pueden usar espacios que se construirán al final del proyecto como áreas comunes, parqueaderos, urbanismo, piscinas, etc.

Después de realizar este análisis se deben dibujar las áreas definidas en el layout y como el acero ocupa varios lugares, se deben enumerar, con el objetivo de mantener un orden y poder ubicarlas fácilmente tanto al momento de almacenar como de entregar. Dado que hay proyectos que no cuentan con mucho espacio, si después del análisis no se encuentra una alternativa para almacenar, se debe buscar como adquirir almacenamiento adicional, por fuera de la obra, ya que es preferible eso a amontonar en sitio, lo que interfiere el desarrollo normal de otras actividades, genera pérdidas y daños, además de causar un movimiento excesivo de materiales.

Para el manejo de la formaleta, dado el desorden y la pérdida de tiempo que se identificó en el personal buscando estos elementos, se recomienda modular todo el sistema de formaletas, además de marcar cada panel con números y colores que los identifiquen de acuerdo con el punto de uso y ayuden a organizar de manera rápida cada que se realiza el encofrado y desencofrado.

Aprovechando el sistema semi industrializado, se debe mantener su objetivo y estandarizar las tareas que se vuelven repetitivas, por tal razón se debe planificar

muy detalladamente la ejecución de las actividades como la fundición de muros en concreto reforzado, para realizar la correcta distribución de los recursos en cada frente de trabajo; el personal adecuado, con los equipos, herramientas e implementos de seguridad necesarios. Esta actividad se puede realizar bajo un análisis detallado del proceso y con la colaboración del frente de trabajo

Equipos y herramientas para el proceso de abastecimiento

Se deben definir los equipos a utilizar para el movimiento de materiales, aquí se busca planificar las instalaciones de manipulación y los equipos necesarios, con el objetivo de garantizar el suministro en todos los puntos de producción de manera eficiente y segura, de acuerdo con la necesidad prevista, el espacio del almacén, los patios de acopio y los frentes de producción, la ubicación, las distancias de desplazamiento y la capacidad de carga de los equipos.

Para la planificación del uso de equipos, Vieira (2006) recomienda conocer los materiales que se van a transportar y los procesos que se desarrollaran, buscar equipos de manipulación flexibles, que sean adaptables a muchos materiales y procesos. Para el almacenamiento sugiere usar eficientemente el espacio, aprovechando el volumen y no sólo el área.

Verificación, seguimiento y acciones correctivas

Proponer indicadores de gestión

Es necesario definir indicadores de control para las operaciones logísticas, ya que esto facilita el seguimiento, análisis y toma de decisiones en pro de mejorar. La empresa debe establecer la frecuencia de medición y los responsables de tomar cada indicador, una vez se empiecen a tomar, se pueden establecer metas y objetivos estratégicos por parte de la dirección de la logística, en conjunto con todo el equipo.

- Planificación de la logística

Dado que la falta de habilidades de programación y control del área logística es uno de los problemas activos, se hace necesario desarrollar un plan de capacitación del personal del sistema y definir los objetivos relacionados a los aspectos que se desean mejorar, para que cada persona, pueda contribuir desde su rol y se mejore el desempeño de todo el equipo, por lo cual se debe tener indicadores que permitan medir el cumplimiento de este plan. Se plantean los puntos importantes que se deben tener en cuenta para medir:

- Capacitación del personal = $\frac{\text{Cantidad de personas capacitadas}}{\text{Total de personas del sistema logístico}}$
- Nivel de satisfacción del personal capacitado(encuestas)
- Calificar el desempeño laboral (individual y del equipo)

Estas capacitaciones tienen el enfoque de la mejora continua en el factor humano, por tal razón se debe evaluar, reconocer y recompensar de acuerdo con los resultados que se obtengan, lo cual llevara a motivar al personal, mejorar el ambiente de trabajo y por consiguiente un aumento en la productividad de todo el sistema de abastecimiento.

- Planificación de los materiales

El objetivo de este indicador es evaluar la precisión de las cubicaciones y el cálculo de los materiales en la planeación respecto a las cantidades reales de consumo en obra.

- Precisión de la cubicación = $\frac{\text{Cantidad estimada}-\text{cantidad consumida}}{\text{cantidad consumida}}$ (Tomado de: Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2007)
- Realización de compras

En este punto es importante definir indicadores que ayuden a medir y controlar las operaciones relacionadas con el área de compras y los proveedores, puesto que, al ser externos a la empresa, se convierten en un punto que requiere seguimiento constante.

El objetivo es medir el tiempo desde que se hace la requisición de un material, hasta que llega a la obra, esto se realiza para los materiales considerados como críticos. Se puede dividir de la siguiente manera:

- Tiempo de aprobación de orden = $\frac{\sum \text{Orden de compra}-\text{Requisición}}{\text{Cantidad de requisiciones}}$
- Tiempo de entrega de pedido = $\frac{\sum \text{Entrega de pedido}-\text{Orden de compra}}{\text{Cantidad de pedidos}}$

Seguimiento del cronograma de compras

- Cumplimiento del presupuesto = $\frac{\text{Valor del presupuesto}-\text{valor de la compra}}{\text{Valor del presupuesto}}$
- Número de pedidos urgentes; el objetivo es evaluar si las compras se están planificando bien o se realizan muchas según el avance diario.

- $\text{Compras urgentes} = \frac{\text{Número de compras urgentes}}{\text{Total de compras}}$

- Selección de proveedores

Los proveedores son una parte vital y estratégica en la cadena de suministro, por tal motivo requiere realizar una selección adecuada que garantice su idoneidad. De esta manera se pueden disminuir los riesgos de falta de materiales por problemas del proveedor, mejorando la eficacia y eficiencia del proyecto.

Por ello, cada empresa debe determinar los criterios de selección, pero aquí se recomienda evaluar los siguientes factores al momento de realizar esta operación:

- Certificaciones de calidad
- Garantía
- Forma de pago
- Plazos de entrega
- Capacidad de respuesta
- Ubicación
- Referencias
- Estabilidad de la empresa

- Evaluación de proveedores

Cuando se han seleccionado los proveedores, es momento de evaluarlos, de acuerdo con la calidad del servicio que ofrecen, con el fin de establecer una relación con los mejores, corrigiendo errores y consolidando de acuerdo con las necesidades de la empresa, siempre en busca de una mejora continua. Se recomienda evaluar los siguientes factores:

- Número de devoluciones
- Número de fallas de materiales
- Número de quejas
- Respuesta a quejas y reclamos
- Asesoría
- Cumplimiento de pedidos de acuerdo con lo acordado
- Fecha de entrega
- Cantidad
- Calidad
- Especificaciones

- Estandarización administrativa (entrega de la documentación requerida, despieces, remisión, certificados de calidad)
- Requisición de materiales

En esta operación es importante hacer seguimiento al cumplimiento del cronograma de pedidos y la correcta realización de las requisiciones, esto con el objetivo de medir la rigurosidad con la que se planifican y crean las requisiciones.

- Ordenes de cambio =
$$\frac{\text{Número de órdenes de cambio}}{\text{Total de requisiciones}}$$
- Requisiciones rechazadas =
$$\frac{\text{Número de requisiciones rechazadas}}{\text{Total de requisiciones}}$$

- Recepción de materiales

El objetivo de los indicadores en esta operación es verificar la calidad de los productos recibidos

- Pedidos devueltos =
$$\frac{\text{Número de pedidos devueltos}}{\text{Total de pedidos}}$$

- Almacenamiento

Los indicadores relacionados a esta operación son muy importantes ya que ayudan a controlar el manejo adecuado de los materiales, identificando las pérdidas, desperdicios y usos inadecuados, lo que repercute en la eficiencia del proyecto.

- Rotación de inventario; Se debe evaluar y decidir cuál es la rotación ideal, tomando en cuenta factores como la financiación, descuentos por grandes compras, demanda del material, espacio requerido y costo de almacenamiento. También se debe considerar que no sea tan alta que ponga en riesgo la disponibilidad del material, ni tan baja que implique almacenar productos por mucho tiempo. Esto también se debe hacer de manera individual para los materiales críticos.
- Rotación de inventario =
$$\frac{\text{Valor material usado}}{\text{Valor inventario promedio del material}}$$
- Exactitud del inventario =
$$\frac{\text{Valor inventario real} - \text{valor de inventario en el sistema}}{\text{Valor de inventario promedio}}$$

(tomado y adaptado de: Calero, 2018)

- Área de almacenamiento de acero = $\frac{\text{Área usada para almacenar acero}}{\text{Área planeada para almacenar acero}}$
- Rotura de stock = $\frac{\text{Número de roturas de stock}}{\text{Número de entregas de materiales}}$

El objetivo del indicador de rotura de stock es evaluar las veces que los materiales solicitados no estaban disponibles.

- Solicitud de materiales

El objetivo de este indicador es evaluar el nivel de rigurosidad con el que se crean los vales de consumo de materiales, al identificar el número de vales que presentan errores por falta de datos, poca claridad o mala condición de la solicitud, entre otros aspectos.

- Vales de consumo rechazados = $\frac{\text{Número de vales rechazados}}{\text{Total de vales de consumo realizados}}$ (Tomado de: Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2007)

- Distribución de materiales

El objetivo de los indicadores en esta operación es verificar que los materiales lleguen en el momento, cantidades y en perfecto estado al punto de producción.

- Entrega en perfecto estado = $\frac{\text{Total de pedidos entregados sin daños}}{\text{Total de pedidos entregados}}$ (tomado de: Campaña, 2019)
- Entregas a tiempo = $\frac{\text{Número de entregas a tiempo}}{\text{Total de entregas}}$ (tomado de Calero, 2018)
- Uso eficiente de los equipos = $\frac{\text{Tiempo de uso del equipo}(h)}{\text{Tiempo disponible del equipo}(h)}$ (tomado de Campaña, 2019)

Debido a que se presentan varios indicadores, se crea una lista de chequeo con los indicadores propuestos por las diferentes áreas, presentada en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Indicadores por área
Fuente: Elaboración propia.

Área	Indicador	Fórmula	Valor
Planificación de la logística	Capacitación del personal	cantidad de personas capacitadas/Total de personas del sistema logístico	
	Nivel de satisfacción del personal capacitado	promedio encuestas	
	Desempeño laboral individual	Calificación dada por el residente logístico	
	Desempeño laboral equipo	Calificación dada por el residente logístico	
Planificación de los materiales	Presición de la cubicación	(Cantidad estimada-cantidad consumida)/(cantidad consumida)	
Realización de compras	Tiempo de aprobación de orden	$(\sum [\text{Orden de compra-Requisición}]) / (\text{Cantidad de requisiciones})$	
	Tiempo de entrega de pedido	$(\sum [\text{Entrega de pedido- Orden de compra}]) / (\text{Cantidad de pedidos})$	
	Cumplimiento del cronograma de compras	Si/ no (porcentaje)	
	Compras urgentes	(Número de compras urgentes)/(Total de compras)	
	Calificación de proveedor en proceso de selección	ponderado de criterios	
	Evaluación del desempeño de proveedores	ponderado de criterios	
Requisición de materiales	Ordenes de cambio	(Número de órdenes de cambio)/(Total de requisiciones)	
	Requisiciones rechazadas	(Número de requisiciones rechazadas)/(Total de requisiciones)	
Recepción de materiales	Pedidos devueltos	(Número de pedidos devueltos)/(Total de pedidos)	
Almacenamiento	Rotación de inventario	(Valor material usado)/(Valor inventario promedio del material)	

	Exactitud de inventario	(Valor inventario real-valor de inventario en el sistema)/(Valor de inventario promedio)	
	Área de almacenamiento de acero	(Área usada para almacenar acero)/(Área planeada para almacenar acero)	
	Rotura de stock	(Número de roturas de stock)/(Número de entregas de materiales)	
Solicitud de materiales	Vales de consumo rechazados	(Número de vales rechazados)/(Total de vales de consumo realizados)	
Distribución de materiales	Entregas perfectas	(Total de pedidos entregados sin daños)/(Total de pedidos entregados)	
	Entregas a tiempo	(Número de entregas a tiempo)/(Total de entregas)	
	Uso eficiente de equipos	(Tiempo de uso del equipo(h))/(Tiempo disponible del equipo(h))	

4.1.2 Planificación de los materiales

Esta operación se propone a raíz de los problemas identificados, ya que tradicionalmente se viene desarrollando a medida que se ejecuta el proyecto, a causa de la incapacidad de pronosticar correctamente los materiales, trabajando con datos inexactos, afectando negativamente el costo del proyecto.

Para mejorar esta operación, se debe planear el proceso de abastecimiento de materiales, considerando todos los factores que afectan la cadena de suministro, desde la requisición, las actividades del área de compras, la oferta logística del proveedor y sus condiciones de entrega, las actividades del área de almacenamiento, hasta la entrega y distribución, colocando los materiales en el punto de producción en el momento, calidad y cantidad que son requeridos. Una vez se tiene el análisis de información de estos factores, se debe buscar sincronizar el flujo de materiales para poder mantener una entrega cercana a un esquema justo a tiempo.

Los documentos sobre los que se desarrolla esta operación son el presupuesto, los análisis de precios unitarios y los diseños de construcción, ya que son la base de la

planificación de los materiales, por esta razón es de mucha importancia que estén bien elaborados, con cantidades exactas y rendimientos reales. Para la elaboración de un presupuesto acertado, es necesario contar con los diseños del proyecto bien definidos, para esto se propone la metodología *Building Information Modeling*(BIM) como herramienta para contribuir en la elaboración detallada de los diseños y los cálculos de materiales para obtener el presupuesto detallado, análisis de precios unitarios y listado de materiales con sus especificaciones.

Otro punto a considerar en la planificación del suministro de recursos es la manera en que los equipos y materiales llegan al sitio de obra, la definición de la ruta e inspección de las vías y puentes en alineamiento y capacidad, ya que una baja capacidad de los puentes, vías angostas o curvas cerradas pueden causar problemas (Sears et al., 2008)

En vista de que el abastecimiento de materiales de construcción es de mucha importancia, pero presenta incertidumbre relativa a diferentes amenazas, Sears et al., (2008) proponen realizar un análisis de riesgos de los materiales, donde se identifiquen estos materiales críticos por factores como el costo, la importación, escasez, exclusividad, etc., y se analicen los de mayores probabilidades de presentar problemas de suministro o de aprobación de calidad para proponer alternativas de solución a esto mediante un plan de mitigación.

Se requiere integrar el área de planeación y el área de producción, para realizar una programación detallada de estos materiales críticos. Además, Cruz y Rosa (2007) plantean la integración de los proveedores desde la planificación, ya que éstos pueden ser un gran aporte con sus conocimientos y experiencia sobre la logística. Con la programación resultante se debe elaborar el cronograma de compras, el cual permite hacer un control sobre las fechas en las que se deben realizar las órdenes de compra con el fin de tener los materiales en obra en el momento adecuado.

A continuación, se presentan herramientas recomendadas para el desarrollo de esta operación, sus características y beneficios:

BIM y Lean Construction

El uso de BIM en la gestión logística tiene beneficios como reducir la carga de gestión de materiales en sitio, mejorar la seguridad del sitio, la comprensión de la información logística, la eficiencia del sitio y la efectividad de la planificación de diseño. Esto se logra gracias al uso de las simulaciones de diseños tridimensionales junto a la información, con lo que se identifican los posibles conflictos que causarían ineficiencias y permite planificar dinámicamente el diseño de sitio y distribuir

adecuadamente los espacios del sitio, (Whitlock, Abanda, Manjia, Pettang y Nkeng, 2021).

De acuerdo con Maraqa, Sacks y Spatari (2020) en un proyecto gestionado tradicionalmente, el desperdicio fue de 27% mientras que en uno gestionado Lean y con prácticas de diseño y construcción virtual el desperdicio de material fue de 11%, estos resultados muestran que trabajar bajo la metodología Lean Construction y usar herramientas BIM, aumentan la eficiencia de un proyecto notablemente, si a esto le sumamos una metodología de abastecimiento enfocada en minimizar las pérdidas, se pueden alcanzar resultados muy satisfactorios que compensan en ahorros el esfuerzo realizado para implementar estas herramientas de gestión.

Además se debe considerar que la metodología BIM se convirtió en una línea central de gestión que se ha trazado desde el consejo gremial nacional (CAMACOL, 2020) y es así como el gobierno a través de su estrategia de “fomento para la transformación digital del sector de la construcción e infraestructura”, establece la adopción de la metodología BIM con el objetivo de cumplir la visión nacional de “Transformación digital del sector de la construcción para un mejor uso de los recursos disponibles y una mayor productividad”(Grupo de Trabajo BIM de Colombia, 2020).

Sumado a lo anterior, Etges, Reck, Fireman, Rodrigues y Isatto (2020) concluyen que uno de los beneficios de integrar BIM, LPS y Lean es que estos apuntan a la integración de la cadena de suministro en el proyecto de construcción, algo que para el sistema de abastecimiento sería de mucha importancia ya que sería un facilitador para realizar su gestión de manera eficiente y eficaz.

De acuerdo a lo anterior, vale la pena invertir en la implementación de herramientas que ayudan a realizar una mejor planificación del proyecto, como el caso de BIM, lo cual ayudaría en la planificación de la logística y de los materiales, operaciones que, de acuerdo a la investigación, son las que mayores problemas generan durante la ejecución de los proyectos.

Cronograma de compras

Un cronograma de compras le permite a la empresa prever y reducir actividades, elaborar planes de contingencia, hacer negociaciones en precios y formas de pago con los proveedores. Por tal razón se requiere una persona responsable a cargo de esta actividad y un equipo de trabajo que apoye en todas las actividades, desde las diferentes áreas de la empresa, con el objetivo de especificar todos los detalles y elaborar un buen cronograma de compras.

Esta actividad va dentro de la operación planificación de materiales, ya que necesita la información de qué, cuánto, cuándo y dónde se requieren los materiales, además el área de compras debe obtener la información necesaria para mantener una visión integral de la cadena de suministro, como por ejemplo; oferta logística y disponibilidad de proveedores, tiempo de generación de órdenes de compra, capacidad de almacenamiento, rotación de inventario, tasa de consumo, datos financieros de la empresa, frecuencia de pedidos, stock mínimos requeridos, y todos los factores que influyan en el desarrollo del proceso de abastecimiento.

Se debe elaborar un programa de compras, que considere todos los factores anteriormente mencionados, con el objetivo de garantizar el flujo ininterrumpido de los suministros necesarios en todos los frentes de producción de manera eficiente y eficaz. Para cumplir este objetivo es necesario definir los requerimientos, establecer los factores a tener en cuenta, analizar y desarrollar el mejor plan, definir el cronograma y por último realizar el seguimiento al cumplimiento.

Cuando se desarrolla el cronograma de compras, se definen las fechas en las que se deben crear las requisiciones por parte del responsable de esta actividad, y la fecha en la que debe llegar el pedido, ya que se tiene la información del tiempo que toma un material desde que se genera la requisición hasta que el pedido llegue al almacén.

Kits o vales tipo

Los kits/paquetes/pedidos tipo se definen en el área técnica desde la operación de planificación de materiales, con el objetivo de entregar los materiales necesarios en cantidades exactas para ejecutar una tarea, lo que permite mejorar el control del consumo, agiliza el proceso de creación de vales y entrega de materiales, además facilita la organización de las labores en el almacén. Generalmente se entregan por apartamento, espacio, etc. y resultan útiles para el manejo de accesorios e instalaciones.

4.1.3 Requisición de materiales

Esta operación se debe realizar siguiendo el cronograma de compras, un dato muy importante son los tiempos que tardan los materiales en llegar, por eso se debe crear la matriz de tiempos, para los materiales críticos, en la que se da a conocer el

tiempo que pasa desde que se hace una requisición hasta que los materiales llegan a sitio.

El residente de logística debe realizar esta actividad, con la información de las áreas de producción y de compras. Esto con el fin de mantener una buena planeación de esta actividad y no realizar requisiciones con entregas urgentes.

4.1.4 Realización de compras

Los proveedores son una parte fundamental en la cadena de suministro, suministran los materiales necesarios para la ejecución del proyecto y por lo tanto, una buena relación y selección, tomando en cuenta las diferentes variables que intervienen en ellas, reduce el riesgo de incumplimientos y problemas que generen retrasos y pérdidas por espera de materiales.

Ya que el área de compras sumamente importante durante la ejecución del proyecto debe existir una programación asociada, la cual se base en las necesidades de materiales de acuerdo con la programación de obra y a las diferentes variables que intervienen en la cadena de suministro.

4.1.5 Recepción de materiales

El equipo debe estar enterado de todas las funciones que le corresponde hacer en esta operación, desde la correcta verificación, evaluación y chequeo de los materiales y los documentos, cotejando que las cantidades y el tipo de material correspondan a lo solicitado, hasta el descargue y acopio de materiales, según sus características. Es importante que quienes realizan esta tarea sean rigurosos en la revisión y estén informados sobre la forma de proceder cuando existan errores en algún documento o en los materiales.

Para el acopio se debe respetar lo siguiente:

- Mantener el orden en la obra.
- Respetar las normas internas para el acopio.
- Acopiar en lugar de fácil acceso.

4.1.6 Almacenamiento

La operación de almacenamiento es complementaria a la recepción y entrega de materiales, por esta razón las empresas definen el sistema informático de apoyo que se usará en esta área, los procedimientos de control y los informes requeridos para llevar una buena gestión, administración y control, (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2007). Dentro de las actividades que se realizan en la operación

almacenamiento, resalta: el inventario, el cual debe ser conciso y permanecer actualizado; la clasificación de los materiales de acuerdo con su tipo; la permanencia de los stocks de seguridad; el establecimiento de estrategias de aprovisionamiento y el uso de los mínimos recursos posibles para hacer el trabajo correctamente.

De acuerdo con la forma en que se desarrollan los proyectos de construcción, el tipo de materiales y la cantidad pueden variar de acuerdo con la etapa del proceso constructivo, pero en general, siempre se va a requerir almacenar en estanterías, en espacio cerrado y apilado en patio, dependiendo del tipo de material. Se recomienda el almacenamiento mediante estanterías tipo cantiléver con brazos inclinados para las barras de acero, ya que es apropiado para materiales de gran longitud, facilitando el manejo de la carga y optimizando espacio.

La herramienta 5S es utilizada para mejorar el orden, la limpieza, la seguridad y estandarizar esta disciplina. Es de fácil aplicación y muy útil en el manejo de un almacén para minimizar las pérdidas, lo que aumenta la eficiencia de esta operación logística.

4.1.7 Solicitud de materiales

La operación de solicitud de materiales se debe programar de acuerdo con las actividades definidas en la programación de obra semanal bajo el sistema del último planificador LPS, y los materiales asignados a cada una de esas actividades.

Los vales se deben digitalizar, de acuerdo con Corporación de Desarrollo Tecnológico, (2007) esto presenta las siguientes ventajas frente a los vales en papel:

- Un Vale de Consumo no podrá ser enviado mientras no hayan completado todos los campos obligatorios.
- Se agiliza el proceso de envío de Vales de Consumo, pues ya no es necesario salir del frente de trabajo a realizar traslados por aprobaciones.
- Se evitan posteriores errores de digitación en el sistema PC .
- Se elimina la actividad digitación de Vales de Consumo en Bodega.
- Es posible revisar desde terreno si los recursos necesarios se encuentran en Bodega.

- Se puede controlar automáticamente la cantidad a entregar de cada recurso.
- El inventario se actualiza automáticamente y se pueden controlar temas como el consumo por cuadrillas, estado de vales, devoluciones, etc.

4.1.8 Realización de entregas

En la operación de realización de entregas, se deben definir los métodos de registro y entrega, además de establecer un horario, con el fin de mantener orden y realizar trazabilidad en el material, se hace énfasis en el acero pues se encontró en las visitas a obra que es el material que presenta mayor desorden en esta actividad.

Solo se entregan materiales con los vales autorizados.

Revisión del vale, previo a la entrega para alistar los materiales y programar las entregas ordenadamente.

4.1.9 Distribución

En la operación de distribución, se transportan los materiales desde el punto de almacenamiento hasta el punto de producción, por tanto, se debe planificar para agilizar su desarrollo y evitar pérdidas por malos manejos, inadecuada manipulación o robos. Es importante que desde que se hace la solicitud del material se especifique si requiere equipo para el traslado o si se realizará manualmente.

4.1.10 Comunicaciones

Para desarrollar una gestión eficiente del sistema de abastecimiento, se deben planificar las comunicaciones, definir los canales de comunicación y como se realizará el flujo de información de las operaciones y los recursos entre los diferentes actores involucrados. El sistema de información debe ser sólido, para poder integrar y reforzar todos los actores-áreas del proyecto y debe tener la información necesaria en el momento oportuno para su análisis, la ejecución de las tareas y la toma de decisiones.

La logística de la información permite mantener, monitorear, controlar y mejorar la comunicación y operación entre los actores del sistema con el objetivo de garantizar que la información relevante y precisa llegue a las personas adecuadas en el momento adecuado, permitiendo el correcto flujo y la ejecución eficiente de las operaciones que usan esta información.

Dado que hay muchos involucrados en un proyecto de construcción, se generan diferentes interfaces, por lo cual se hace necesario elaborar una matriz de comunicaciones, en la cual se defina el flujo de la información, con el fin de que esta sea eficiente y eficaz. Aquí se definen los canales de comunicación, las tecnologías que se usarán, el contenido, el emisor o responsable de emitir esta información, el receptor o a quien/quienes va dirigida y la frecuencia con la que se realiza.

A continuación, se presenta un ejemplo de una matriz de comunicación con la información relacionada al proceso de abastecimiento:

Tabla 4.2. Matriz de comunicación
Fuente: Adaptado de Ruiz, Paz y Rojas 2018

Canales de comunicación	Metodología o tecnología	Contenido	Emisor	Receptor	Frecuencia
Informes de gestión de cada área	Documento digital-word	*Estado actual de la operación. *Resultado de indicadores	Residente de logística	Director del proyecto	Mensual
Requisición de materiales	Digital-plataforma	Información completa sobre el pedido	Residente de logística	Jefe de compras	según cronograma de compras
vales de consumo	Digital-plataforma	Información sobre solicitud de material (cant, descripción, und, actividad, responsable, etc.)	Contratista	Jefe de almacén	según programación semanal
ERP	Digital-plataforma	Notificaciones	Equipo de logística/ del proyecto	Equipo de logística	Según necesidad de las partes
reuniones LPS/comités de obra	Debate y participación de todos los asistentes	Entrega de reportes de avance, gestión, sugerencias, novedades, dificultades	Equipo del proyecto	Equipo del proyecto/ Director	semanal
Presentaciones / videos	Digital, documento, video	capacitaciones al personal de logística, exposiciones en reuniones de obra	Residente de logística	Equipo de logística/ grupos de interés	según necesidad o de acuerdo a lo planeado
Señales visuales	Impresiones, carteleros, pendones, tableros	Información sobre normas, almacenamiento, materiales, rutas, etc.,	Dirección de logística	Equipo de logística	según la necesidad

Un buen sistema de información, basado en las tecnologías de la información es fundamental para el éxito de la gestión del sistema logístico. La información es un elemento integrador y alimentador a lo largo del proyecto, se puede definir como un

recurso intangible, por tal razón es necesario que el sistema de información sea eficiente, ágil y transparente. Unos actores muy importantes son los externos, como son proveedores y diseñadores, pero también se debe integrar de manera interna, entre la obra y la administración, con el fin de dar soporte para desarrollar el flujo de los recursos (Vieira, 2006).

De acuerdo con Fonseca, (2011) se debe definir el conducto regular para el manejo de la información, para esto se deben implementar herramientas tecnológicas que permitan integrar la información del proyecto, favoreciendo el control sobre la trazabilidad de los materiales y demás recursos, mediante el flujo de la información. Para cumplir este requerimiento se cuenta con una excelente herramienta tecnológica que permite integrar la información de todas las áreas de la empresa en una sola plataforma, a través de paquetes del software que cubren todas las operaciones y áreas de la empresa (Vieira, 2006), este es el sistema de ERP, el cual cumple con las características descritas anteriormente.

La comunicación entre el equipo del proyecto debe ser paralela a todas las actividades dentro del proceso de abastecimiento y a las actividades de producción, esta debe ser fluida y visible, aplicando el principio *LEAN* de la transparencia, clara, concisa, concreta. Es muy importante que la comunicación se dé entre los diferentes niveles jerárquicos en sentido ascendente y descendente, para mantener informados a los niveles inferiores de los objetivos planteados y a los superiores del seguimiento de estos y de manera horizontal y diagonal para mantener informados a todos los interesados. De acuerdo con lo anterior, se deben realizar informes en los cuales se haga seguimiento de seguridad, calidad, control de costos, ritmo de obra, suministro de materiales, mano de obra y equipos necesarios. Estos informes se socializan en reuniones para hacer los seguimientos, analizar las desviaciones, identificar la causa de estas y establecer las correcciones pertinentes con el fin de alcanzar los objetivos planteados, (Noguera y Tovar, 2019).

Proporcionar información en tiempo real a los trabajadores, ayuda a que estos puedan tomar mejores decisiones basadas en datos precisos, transparentes, estructurados y confiables. Además, libera carga de trabajo y les permite enfocar su capacidad en la ejecución de su tarea, lo que conduciría a un aumento de la productividad laboral, (Görsch, Seppänen, Peltokorpi y Lavikka, 2020). Por esto es importante poder compartir información actualizada al grupo de trabajo en general, las áreas de producción pueden obtener información a través de comunicación visual en carteleras o tableros que muestren datos relevantes de manera breve y concisa, como objetivos semanales, resultados, indicadores, logros, etc.

A continuación, se presentan herramientas recomendadas para el desarrollo de esta operación, sus características y beneficios:

Sistema de planificación de recursos empresariales-ERP

Los sistemas de planificación de recursos empresariales son una herramienta tecnológica muy conocida, la cual integra la información de todas las áreas de la empresa en una sola plataforma, permitiendo y facilitando la toma de decisiones desde una perspectiva global.

Debido a la integración de la información, aumenta la velocidad de la de planificación; aumenta la eficiencia ya que facilita tener los datos en tiempo real, permitiendo tomar decisiones de manera rápida; aumenta el control de los rendimientos; mejora la transparencia de la información ya que permite visibilizar los datos entre las diferentes secciones de la construcción. Todo esto conlleva a mejorar el servicio al cliente, (Isah, Shakantu y Ibrahim, 2020).

Planificación de requerimientos de material-MRP

Esta herramienta, muy usada en el sector manufacturero es poco usada en la industria de la construcción, pero podría usarse para mejorar actividades de la logística en la construcción como la planificación, demanda de materiales, gestión de compras, reducción de inventarios y control de stock. Lo cual indica que esta herramienta permite obtener una mejor planificación de materiales, minimizando costos a través de un suministro eficiente (Isah et al., 2020).

1. Lista de materiales
2. Programa maestro (cronograma)
3. Inventario (disponibilidad, stock de seguridad, lead time"tiempo desde la orden hasta que llega el material", cronograma de compras)

Gestión visual

Una herramienta estratégica de comunicación efectiva es la gestión visual, la cual se puede definir como una estrategia sensorial para la gestión de la información que se puede emplear siempre que exista una necesidad de comunicación e interacción entre elementos humanos y de proceso (Brandalise, Valente, Viana y Formoso, 2018), por sus características permite reconocer fácilmente problemas, anomalías y desperdicios. Se pueden proponer soluciones en el sitio de producción o en patios de acopio (Tezel, Koskela y Tzortzopoulos, 2016), para lo cual se requiere conocer los problemas de comunicación existentes, las necesidades de información de la

audiencia objetivo y la forma de integrar la herramienta en los procesos y rutina de la empresa.

4.1.11 Verificación, seguimiento y acciones correctivas

El control en un proceso permite obtener la información necesaria para tomar decisiones en busca de lograr los objetivos, al prescindir de este, se tiene el riesgo de desviarse del objetivo sin poder identificar esta situación y como consecuencia afecta el éxito del proyecto. Por ello es importante dedicarle el tiempo necesario para llevar un riguroso control, para que la información sea confiable y de esta manera entregar resultados acertados que sean la base en la toma de decisiones para desarrollar acciones de mejora.

La información que se maneja en el control tiene un responsable específico, el cual debe procesarla y comparar lo ejecutado con lo planeado, con el fin de mantener alineados al plan y tener la capacidad de detectar las desviaciones de manera temprana y puntual para así poder detectar la causa de estas, y tomar medidas correctivas a tiempo. Cada operación tiene sus puntos de control en función de garantizar un abastecimiento continuo, cumpliendo con la calidad, cantidad y tiempo requerido para cada uno de los puntos de producción, usando los recursos de manera eficiente.

El objetivo es mantener alineados a la planeación con el fin de alcanzar las metas del proyecto, por ello debe ser periódico y tener una metodología definida, además se debe trabajar con una baja inversión, manteniendo una alta rotación de inventario y evitando desperdicios, para alcanzar una alta competitividad, por ello el control siempre debe ir alineado hacia los tres aspectos más importantes; tiempo, costo y calidad.

Como se identificó en el proceso de caracterización, el control se desarrolla de manera paralela a todas las operaciones del sistema de abastecimiento, es por ello que los informes de gestión se presentan en las reuniones o comités periódicos, donde se reúne el equipo de trabajo con el objetivo de analizar el estado general del proyecto, exponer el desempeño de cada una de las áreas y a partir de esta información y sus resultados, tomar decisiones sobre situaciones específicas como por ejemplo las propuestas de solución para tomar, implementar y controlar las acciones correctivas.

4.2 Metodología

Con base en el análisis realizado a partir de las visitas a obra, el levantamiento de datos, las entrevistas, la referenciación bibliográfica, las matrices de caracterización realizadas y el análisis sobre los problemas encontrados, se plantea una propuesta metodológica que busca mejorar la eficiencia en el proceso de abastecimiento. Teniendo en cuenta que la obra corresponde a un sistema semi industrializado, se desarrolla una metodología para el proceso de abastecimiento de la actividad de muros en concreto reforzado, incluyendo algunas herramientas encontradas en la literatura. Esta se basa en la consecución de 9 operaciones, como se presenta a continuación.

1. Planificación de la logística
 - 1.1. Estudio de antecedentes del proyecto (diseños, planos, especificaciones, presupuesto, EDT, etc.)
 - 1.2. Definición del sistema de planificación y control de recursos
 - 1.3. Definición del sistema de comunicaciones
 - 1.3.1. Definición del sistema o herramienta usada para el manejo de la información
 - 1.3.2. Establecimiento de flujos de la información
 - 1.3.3. Definición de responsables del proceso de comunicaciones, medios de transmisión, tipo, contenido y periodicidad de informes.
 - 1.4. Planificación el sistema de construcción
 - 1.4.1. Planeación del suministro de concreto de acuerdo con el estudio financiero y las condiciones del proyecto y definir si el concreto se compra o se produce en obra.
 - 1.4.2. Definición de las características de la formaleta a utilizar (compra, renta, tipo)
 - 1.4.3. Modulación de las formaletas en el plano, definir colores por zona y enumerar los módulos.
 - 1.5. Definición de los equipos a utilizar para el movimiento de materiales (Acero, concreto y formaletas) que sean eficientes de acuerdo con la necesidad prevista, el espacio, las distancias de desplazamiento y la capacidad de carga.
 - 1.6. Realización del layout detallado del proyecto.
 - 1.6.1. Diseño de los planos de las instalaciones provisionales (Eléctricas, hidráulicas, redes)

- 1.6.2. Definición del número, tamaño y la ubicación del almacén, oficinas, baños, parqueaderos
- 1.6.3. Definición de la ubicación de puntos de recolección de residuos de construcción y demolición (RCD)
- 1.6.4. Definición de las rutas de acceso vehicular y peatonal
- 1.6.5. Definición de la ubicación de la planta, o del punto de producción de concreto, en el caso de producirse en obra
- 1.6.6. Definición de la ubicación de almacenamiento de agregados pétreos
- 1.6.7. Definición del espacio de almacenamiento de acero (longitudinal y malla) de acuerdo con las cantidades máximas de almacenamiento definidas.
- 1.6.8. Definición de la forma de almacenamiento de acero y estanterías a utilizar.
- 1.6.9. Especificación de la ubicación y/o las rutas de los equipos para el movimiento de materiales.
- 1.6.10. Definición de las áreas donde se realizarán prefabricaciones
- 1.7. Elaboración de la matriz de caracterización para cada operación del proceso de abastecimiento, detallando al responsable, proveedor, entradas, actividades, salidas y cliente.
- 1.8. Definición de todos los indicadores relacionados a las operaciones logísticas, su significado, valores y responsables, esto con el fin de establecer la forma en la que se va a medir el desempeño del sistema y poder realizar un seguimiento, verificación y control eficaz de todas las operaciones.
- 2. Planificación de los materiales
 - 2.1. Creación del listado de materiales con sus especificaciones técnicas.
 - 2.2. Identificación y definición de los materiales críticos (concreto, acero, formaleas, etc)
 - 2.3. Cubicación y cálculo la cantidad exacta de materiales críticos requeridos
 - 2.3.1. Cálculo de la cantidad exacta de acero, mediante el despiece de acero.
 - 2.3.2. Cálculo de la cantidad exacta de concreto, usando metodología BIM.
 - 2.3.3. Modulación de las formaleas y realizar plano de esta modulación
 - 2.3.4. Comparación con el presupuesto inicial y hacer ajustes
 - 2.4. Definición del sistema de adquisición de concreto
 - 2.5. Análisis de riesgos y plan de mitigación
 - 2.6. Planificación del suministro de los materiales críticos
 - 2.6.1. Establecimiento de factores para crear los requerimientos de los materiales críticos

- 2.6.1.1. Definición de la frecuencia y fechas de entrega tomando en cuenta variables como el espacio de almacenamiento, la rotación de inventario, la tasa de consumo y la oferta logística del proveedor.
 - 2.6.1.2. Creación de kits/ cuadros de materiales
 - 2.6.1.3. Elaboración del listado de materiales por etapa-piso-espacio, etc para programar la requisición.
 - 2.6.1.4. Definición de las fechas de entrega de pedidos hechos a través de la requisición.
 - 2.7. Creación del cronograma de compras de materiales críticos
 - 2.7.1. Elaboración del cronograma de compras de acuerdo con los datos de la actividad 2.6
 - 2.7.2. Definición de las fechas de creación de requisición
- 3. Requisición de materiales
 - 3.1. Verificación, control y actualización de las fechas de entrega de pedidos y de creación de requisición.
 - 3.1.1. Comparación del cronograma de entrega de pedidos con cronograma de obra
 - 3.1.2. Verificación de restricciones respecto a materiales en las reuniones de planeación intermedia definidas en el LPS
 - 3.1.3. Verificación y actualización de fechas de entregas de pedidos
 - 3.1.4. Verificación y actualización de fechas de creación de requisición
 - 3.1.5. Verificación de necesidad de materiales no planeadas
 - 3.1.6. Revisión de la necesidad de hacer ordenes de cambio
 - 3.2. Generación de requisición
 - 3.2.1. Creación de requisición de acuerdo con el cronograma de entrega de pedidos
 - 3.2.2. Registro de la actividad/es, ubicación, espacio, etapa asociados a los materiales solicitados, de acuerdo con la planificación de materiales realizada en la actividad 2.6 de esta metodología
 - 3.2.3. Envío de la requisición al área de compras
 - 3.3. Seguimiento al estado de la requisición
 - 3.3.1. Seguimiento en compras
 - 3.3.2. Envío despiece al proveedor, cuando es una requisición de acero
 - 3.3.3. Seguimiento al proveedor
 - 3.3.4. Confirmación de recepción de materiales
 - 3.4. Envío indicadores correspondientes a la operación de requisición.
- 4. Realización de compras
 - 4.1. Seleccionar los proveedores
 - 4.1.1. Elaboración de formularios para calificar a los proveedores

- 4.1.2. Evaluación a proveedores de acuerdo con las variables definidas en los indicadores
- 4.1.3. Registro de proveedores con una evaluación favorable
 - 4.1.3.1. Ingreso de proveedores en la base de datos o al sistema
- 4.1.4. Establecimiento de medio de comunicación con los proveedores
- 4.1.5. Establecimiento de acuerdos comerciales con proveedores
 - 4.1.5.1. Fijación de precios por un periodo de tiempo, si aplica.
 - 4.1.5.2. Determinación de las formas de pago.
- 4.2. Verificación y control del cronograma de compras
- 4.3. Recepción, verificación y aprobación de la requisición de materiales
 - 4.3.1. Recepción de la requisición y verificación de su aprobación por parte de producción.
 - 4.3.2. Verificación de la coherencia de la requisición entre el presupuesto y el cronograma de compras
- 4.4. Creación de la cotización con base en la requisición
- 4.5. Envío de cotizaciones a los proveedores registrados en la base de datos.
- 4.6. Análisis comparativos de las cotizaciones recibidas
- 4.7. Definición de el/los proveedores
- 4.8. Generación de orden de compra
- 4.9. Actualización del estado de orden de compra en el sistema de información y notificación al usuario que hizo la requisición
- 4.10. Envío de información a contabilidad para realizar pagos correspondientes a las órdenes de compra.
- 4.11. Evaluación del desempeño de proveedores teniendo en cuenta los indicadores definidos
- 4.12. Evaluación de la gestión del área compras y envío de indicadores correspondientes a la operación de compras
- 5. Recepción de materiales
 - 5.1. Coordinación de la recepción de materiales con el proveedor
 - 5.1.1. Establecimiento del horario y punto de entrega
 - 5.1.2. Confirmación de la inclusión del descargue de los materiales, de lo contrario preparación de los equipos necesarios para hacerlo.
 - 5.1.3. Confirmación de disponibilidad de espacio
 - 5.2. Recepción de materiales
 - 5.2.1. Control de documentación
 - 5.2.2. Verificación de las cantidades
 - 5.2.3. Verificación de calidad, especificaciones técnicas e integridad
 - 5.2.4. Registro de cualquier anotación u observación sobre el pedido

- 5.2.5. Envío de documentación e información de recepción al área de compras.
- 5.3. Descarga de materiales
 - 5.3.1. Descarga adecuada en los puntos establecidos
- 5.4. Envío de indicadores correspondientes a la operación de recepción.
- 6. Almacenamiento
 - 6.1. Ubicación de los materiales de acuerdo con el layout
 - 6.1.1. Movimiento de materiales desde el punto de acopio al punto de almacenamiento especificado
 - 6.2. Registro del tipo de material y su ubicación e información importante
 - 6.2.1. Registro y etiqueta de la cantidad, tipo, ubicación y actividad para la cual está programado el material, de acuerdo con la información de la requisición registrada en la actividad 3.2.2 de esta metodología
 - 6.2.2. Registro de cualquier cambio, traslado o préstamo que se realice, el cual debe estar autorizado por el residente de logística.
 - 6.3. Ingreso de materiales en el inventario
 - 6.4. Verificación del funcionamiento adecuado de las instalaciones de almacenamiento y los materiales.
 - 6.4.1. Verificación del estado de elementos (burros, estanterías, techos, contenedores, cerramientos)
 - 6.4.2. Verificación de las condiciones de seguridad requeridas en las instalaciones, (seguridad industrial, seguridad contra hurtos)
 - 6.4.3. Permanencia de señales visuales (advertencia, información, orden, ubicación, seguridad)
 - 6.5. Control de inventario
 - 6.5.1. Inventario de materiales
 - 6.5.2. Registro de variación entre el material comprado vs material gastado
 - 6.6. Permanencia del stock de materiales
 - 6.7. Conservación de los materiales
 - 6.7.1. Verificación del correcto estado de los materiales
 - 6.7.2. Vigilancia de los materiales, para evitar que se usen en actividades diferentes a las planeadas
 - 6.7.3. Garantía de la conservación de las condiciones óptimas de almacenamiento de acuerdo con el fabricante del material.
 - 6.8. Registro y envío de indicadores correspondientes a la operación de almacenamiento.
- 7. Solicitud de materiales (vales de consumo)
 - 7.1. Programación de la operación de solicitud de materiales
 - 7.1.1. Digitalización de las solicitudes de materiales

- 7.1.2. Creación de pedidos tipo
- 7.1.3. Creación de una programación de materiales semanal alineada a la programación de actividades de obra semanal
 - 7.1.3.1. Creación de una programación de pedido diario, con base en la programación de materiales semanal
 - 7.1.3.2. Asignación de materiales a la actividad constructiva correspondiente
- 7.1.4. Verificación de la existencia y programación de materiales para la actividad
- 7.1.5. Revisión de la programación de materiales de la siguiente semana, esto se hace en las reuniones de LPS, para detallar las solicitudes de material de la siguiente semana, de acuerdo con lo que se hará.
- 7.2. Creación de solicitud de materiales, de manera digital
 - 7.2.1. Generación del pedido programado en el punto 7.1
 - 7.2.2. Definición del equipo requerido para la distribución, si lo requiere
- 7.3. Verificación de solicitudes de materiales
 - 7.3.1. Verificación de la correcta solicitud por parte del residente de obra
 - 7.3.2. Aprobación de la solicitud y envío al almacén
- 7.4. Envío de indicadores correspondientes a la operación de solicitud de materiales.
- 8. Realización de entregas
 - 8.1. Recepción y verificación del vale
 - 8.2. Programación de entregas
 - 8.2.1. Orden de entrega de pedidos
 - 8.2.2. Confirmación de la existencia y alistamiento de materiales, de ser necesario
 - 8.2.3. Actualización del vale a programado para entrega
 - 8.2.4. Programación de equipos para el movimiento de los materiales de ser requeridos
 - 8.3. Entrega de materiales
 - 8.3.1. Entrega de materiales de acuerdo con lo programado
 - 8.4. Marcación del vale como entregado (Esto actualiza automáticamente el inventario y el Kardex)
 - 8.5. Verificación de la marcación o firma de recibido del vale, por parte del contratista
- 9. Distribución
 - 9.1. Recepción de materiales
 - 9.1.1. Verificación de la correspondencia entre lo recibido y lo pedido en el vale

- 9.1.2. Verificación de la cantidad, calidad y estado
- 9.2. Traslado de materiales
 - 9.2.1. Traslado de acuerdo con el tipo de material, de manera manual o mecánica.
 - 9.2.2. Permanencia de las precauciones de seguridad (Señalización, normas de cargue y descargue, embalaje, transitar por las rutas señaladas)
- 9.3. Disposición de materiales en punto de producción
 - 9.3.1. Descargue en el punto de producción
 - 9.3.2. Anotación de cualquier observación, daño, pérdida, etc.
 - 9.3.3. Cierre del vale.
- 9.4. Registro y envío de indicadores correspondientes a la operación de distribución.

Esta metodología se desarrolló tomando en cuenta cada uno de los problemas analizados, haciendo énfasis en la planificación ya que se encontró que ahí estaba la causalidad de la mayoría de los problemas. Se propone el uso de herramientas de gestión oportunas para mejorar los puntos débiles encontrados y los indicadores para medir y verificar las operaciones con el fin de obtener un sistema de abastecimiento eficiente y efectivo que se mantenga en el proceso de mejora continua.

5. CONCLUSIONES

- Mediante la visita a la obra de la *constructora TG* y las entrevistas realizadas, se evidenció que las problemáticas identificadas por diferentes autores se siguen presentando actualmente; se le ha dado un bajo nivel de importancia al tema logístico en los proyectos de construcción de edificaciones, dejando estas operaciones como un complemento que se detalla en el momento de la ejecución y se planifica de manera muy general, lo cual conlleva a deficiencias que afectan la productividad de todo el sistema.
- En la caracterización realizada, se identificaron 8 operaciones de abastecimiento primarias y 2 operaciones transversales a todo el proceso de abastecimiento. En cada operación, existen situaciones que generan retrasos, esperas, sobrecostos, pérdidas y mala ejecución de procedimientos, lo que acarrea en tener un proceso de abastecimiento de materiales ineficiente. Estas situaciones, hacen referencia a los problemas encontrados.

- Se identificaron 69 problemas asociados a las 8 operaciones de abastecimiento primarias. Mediante la herramienta del diagrama de Ishikawa, se encontró que, de los problemas identificados, 26 correspondían a problemas causa raíz. Finalmente, con apoyo de un análisis de causalidad mediante la herramienta matriz de Vester, se categorizaron los problemas causa-raíz, detectando 8 problemas a priorizar: deficiencia en la planificación, falta de habilidades de programación y control del área logística, ausencia del área logística y falta de procesos definidos, pobre coordinación entre los miembros del equipo de planeación, programación inexistente o ineficiente de los vales, inexactitud en el presupuesto de compras, falta de información precisa y gestión logística ineficiente.
- En la obra visitada de la *Constructora TG*, se evidenció que el 34,7% de los costos directos de la obra, correspondían a la estructura, siendo este el elemento con mayor porcentaje asociado. Por su parte, la actividad de *muros en concreto reforzado* representa el mayor porcentaje de los costos directos de la estructura que corresponde a un 31,6%. Teniendo en cuenta lo anterior y la recurrencia de la actividad en obras de construcción, se seleccionó la actividad de muros en concreto reforzado como actividad crítica del proceso de construcción en un sistema semi industrializado.
- Mediante el análisis de las operaciones en el desarrollo de la actividad de *muros en concreto reforzado* en la obra visitada de la *Constructora TG*, se encontró que las esperas y la búsqueda de materiales son las actividades desperdiciadoras más recurrentes, las cuales de ser solventadas mediante una correcta gestión, una adecuada planificación y control de todo el proceso de abastecimiento, permitiría reducir hasta en un 75% las actividades desperdiciadoras que se presentan en las operaciones constructivas de armado de acero y encofrado, optimizando y agilizando el flujo de los recursos mientras a su vez se aumenta la productividad de la empresa, brindando competitividad, aspecto importante para sobresalir en el sector de la construcción.

Una metodología de abastecimiento definida en una obra de construcción minimiza el riesgo de desperdicios (hurtos, daños, pérdidas, uso inadecuado) causados a lo largo del proceso, reduce gastos administrativos por sobre costos a causa de operaciones ineficientes, permite realizar una entrega oportuna de materiales, y

optimiza el espacio de almacenamiento lo cual mejora la eficiencia en las operaciones y en los materiales, representando ahorros que se reflejan en una mayor productividad. Sin embargo, debe acoplarse a propuestas de mejora en los procesos constructivos. En el mismo sentido, se requiere de un alto nivel de detalle en la planificación de obra, con el fin de disminuir la variabilidad del sistema y lograr un efecto positivo en la productividad de la industria de la construcción, esto dado que la eficiencia total de un proyecto depende tanto de la eficiencia del proceso de conversión como a la eficiencia de los flujos de material y de información a través de las cuales se unen todos estos procesos.

- Para la estructuración del plan logístico básico para el abastecimiento de insumos en la actividad de muros en concreto reforzado, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:
 - Problemas de las operaciones de abastecimiento identificados con carácter prioritario y problemas en el proceso constructivo de muros en concreto reforzado.
 - Herramientas de gestión como las mencionadas (ERP, matriz de comunicaciones, layout, cronograma de compras, vales digitales, indicadores).

Para el correcto funcionamiento del plan logístico, la empresa debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las políticas de la empresa deben tener un enfoque donde siempre se busque reducir las pérdidas, garantizando la calidad del proyecto e implementando herramientas de gestión que permitan mantener procesos eficientes y agregando valor al cliente, como el caso del enfoque *Lean*.
- Las operaciones y relaciones que configuran la logística de abastecimiento deben estar definidas detalladamente desde la etapa de planificación.
- La gestión del proceso de abastecimiento es tan importante como la de los procesos constructivos, ya que, a través de este fluyen los recursos del proyecto, por lo cual merece ser tomada como un área estratégica al momento de tomar decisiones en el proyecto.
- La comunicación es un aspecto fundamental, ya que la información es un recurso sustancial que debe ser gestionado estratégicamente para tomar las decisiones correctas. El manejo adecuado y transparente de la información correspondiente al proceso de abastecimiento, aumenta la

eficiencia del proyecto, ya que permite obtener datos de manera oportuna y precisa para su análisis.

- Para que un proceso funcione adecuadamente, es muy importante mantener motivado al personal que desarrolla las operaciones, con el objetivo de lograr el compromiso y la cooperación del equipo, por tanto, se deben mantener estrategias como incentivos y capacitación constante, un entorno seguro y cómodo, para generar un ambiente de trabajo más productivo, levantando la moral de los integrantes.
- Se desarrolló una metodología para mejorar la eficiencia de abastecimiento en el punto de producción de la actividad de *muros en concreto reforzado* que considera algunas herramientas de gestión oportunas para mejorar la eficiencia de las operaciones de abastecimiento, basada en su detallada planificación, la cual presenta los principios básicos para ser aplicados en la planificación logística de proyectos de construcción semi industrializado.
- Es importante reconocer que cada proyecto tiene una gran cantidad de variables involucradas, por lo que puede presentar diferentes particularidades que han de tenerse en cuenta al momento de implementar la metodología. No existe un procedimiento único que garantice el funcionamiento en todos los proyectos, sin embargo, la metodología planteada en el presente trabajo puede servir como una guía que puede ser ajustada a las características de cada empresa.

LIMITACIONES

- La información obtenida en las visitas a la obra de la *Constuctora TG*, fue de suma relevancia para el desarrollo de este trabajo. Por razones de confidencialidad, hay datos que no se pueden publicar e información reservada de la constructora. Lo anterior representa una limitación en cuanto a la publicación de información, más no en el análisis de esta.
- Dada la coincidencia del desarrollo de esta investigación con las restricciones nacionales decretadas a causa del COVID-19 a través de los protocolos de bioseguridad en las obras de construcción, se presentaron dificultades para realizar el levantamiento de datos y sólo se pudo ingresar a un proyecto.

TRABAJOS FUTUROS

- Implementar la metodología desarrollada en este trabajo para la actividad de muros en concreto reforzado utilizando los respectivos indicadores propuestos, en una obra de la *constructora TG* y analizar los resultados de manera comparativa, teniendo en cuenta resultados del área de producción, del área financiera y del área logística.
- Realizar un estudio de sitio con diferentes actividades constructivas, para identificar otros problemas causados por el proceso de abastecimiento y con esta información proponer más herramientas de gestión que permitan una mejora continua.
- Desarrollar un software de información, como herramienta de gestión, enfocado en el proceso de abastecimiento de una obra de construcción, el cual integre la información de las áreas de planeación de obra, planeación de logística, compras, almacenamiento y puntos de producción.

6. REFERENCIAS

- Aboabdo, S., Aldhoiena, A. y Al-Amrib, H. (2019). Implementing Enterprise Resource Planning ERP System in a Large Construction Company in KSA. *Procedia Computer Science*, 164, 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.207>
- Almeyda, F. y Serrano, G. (2010). *Guía para la administración de los materiales de construcción aplicada a proyectos de obra civil*. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Recuperado a partir de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1235/digital_19978.pdf?sequence=1
- Añazco Campoverde, G. A. y Sánchez Buri, J. C. (2016). *Pérdidas operacionales generadas en la construcción de una urbanización: Análisis de sus causas y soluciones mediante la filosofía de LEAN CONSTRUCTION*. Escuela Superior Politécnica Del Litoral.
- Andrade Rezende, H., Barreto de Jesus, R. y Araújo Moura, R. C. (2013). A logística no contexto da construção cívil. *Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas*, 1(16), 135–146.
- Arroyo Pérez, R. (2016). *Problemas En La Gestión De La Cadena De Suministro En Las Pymes De La Construcción: Una Revisión De La Literatura*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Bertelsen, S. y Nielsen, J. (1997). Just-In-Time Logistics in the Supply of Building Material. *1st international Conference on Construction Industry Development: Building the future Together*, 9–11. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/6c6c/e29483f94784ac80f428a8cbaed994a2ac60.pdf>
- Boquera Pérez, P. (2015). *Planificación y control de empresas constructoras*. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. Recuperado de www.libreria.upv.es
- Botero Botero, Luis F. y Alvarez Villa, M. (2005). Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción: Estudio del caso de la ciudad de Medellín. *Ingeniería y desarrollo: revista de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte*, 17(17), 148–159.
- Botero Botero, Luis Fernando y Álvarez Villa, M. E. (2003). Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción. *Revista Universidad EAFIT*, 30, 65–78.
- Brandalise, F. M. P., Valente, C. P., Viana, D. D. y Formoso, C. T. (2018). Understanding the effectiveness of visual management best practices in construction sites. *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, 754–763. <https://doi.org/10.24928/2018/0452>
- Calero, J. C. (2018). *Diseño de un plan de gestión logística en los procesos de suministro,abastecimiento y manejo de inventarios aplicados a la empresa Grupo Constructor Prodigyo S.A.* CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA.
- CAMACOL. (2018). Informe de Productividad - Sector Construcción de Edificaciones. Recuperado de <https://camacol.co/sites/default/files/INFORME-PRODUCTIVIDAD-VF.PDF>

- CAMACOL. (2020). GUÍA DEL PLAN DE APLICACIÓN DEL PROTOCOLO DE SEGURIDAD EN LA OBRA - PAPSO.
- CAMACOL y McKinsey. (2017). Una apuesta en construcción: Mayor productividad, menores riesgos. *Congreso Colombiano de la Construcción 2017*, 1–22.
- Campaña Díaz, W. A. (2019). *Abastecimiento de puntos de producción en construcción de edificaciones - una propuesta de logística interna*. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Colque Gómez, P. R. (2013). *SOLUCIONES BÁSICAS PARA LA GESTIÓN DE LOGÍSTICA DE ABASTECIMIENTO EN INFRAESTRUCTURA*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2007). Optimización de la logística interna de obras de construcción mediante tecnología Wi-Fi. *Cámara Chilena de la Construcción*, 257. Recuperado de <http://repositoriodigital.corfo.cl/handle/123456789/3164>
- Cruz-Machado, V. y Rosa, P. (2007). Modelo de Planificación Basado en Construcción Ajustada para Obras de Corta Duración. *Información tecnológica*, 18(1), 107–118. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642007000100015>
- Dixit, S., Mandal, S. N., Thanikal, J. V. y Saurabh, K. (2019). Evolution of studies in construction productivity: A systematic literature review (2006–2017). *Ain Shams Engineering Journal*, 10, 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.10.010>
- Duarte, A., Escandón, M. C. y Rodríguez, S. A. (2014). *PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LOS ESLABONES DE ABASTECIMIENTO Y OPERACIÓN PARA LA CONSTRUCTORA BENHABITAT LTDA*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA-BOGOTÁ.
- Emuze, F., Smallwood, J. y Han, S. (2014). Factors contributing to non-value adding activities in South African construction. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 12(2), 223–243. <https://doi.org/10.1108/JEDT-07-2011-0048>
- Etges, B. M., Reck, R. H., Fireman, M. T., Rodrigues, J. L. y Isatto, E. L. (2020). Using BIM with the Last Planner System to improve constraints analysis. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*. <https://doi.org/10.24928/2020/0060>
- Fonseca Arias, C. G. (2011). *Mejoramiento de los procesos de planificación de obras a partir de la introducción de conceptos de gestión logística soportados en TIC, para el sector de la construcción en Colombia*. Universidad EAFIT, Colombia.
- Ghanem, M., Hamzeh, F., Seppänen, O. y Zankoul, E. (2018). A new perspective of construction logistics and production control: An exploratory study. *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, 2, 992–1001. Recuperado de <https://doi.org/10.24928/2018/0540%0APowered>
- Gómez-Cabrera, A., Salazar, L. A., Ponz-Tienda, J. L. y Alarcón, L. F. (2020). Lean tools proposal to mitigate delays and cost overruns in construction projects. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, 781–792. <https://doi.org/10.24928/2020/0049>
- Gómez Cabrera, A., Echeverry Hoyos, J. D., Giraldo Palma, M. X., Otálora Sanchez, C. y Cano Morales, M. L. (2012). Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital. *Revista ingeniería de construcción*, 27(2), 35–53. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732012000200003>

- Gomez Cabrera, A., Granados-Castillo, M. A. y Pérez-Cendales, I. K. (2015). Improving construction material and equipment logistics via simulation. *Ingeniería Y Competitividad*, 17(1), 85–94. <https://doi.org/10.25100/iyv.v17i1.2203>
- Gómez Cabrera, A. y Morales Bocanegra, D. C. (2016). Análisis de la Productividad en la Construcción de Vivienda basada en Rendimientos de Mano de Obra. *Inge Cuc*, 12(1), 21–31.
- Görsch, C., Seppänen, O., Peltokorpi, A. y Lavikka, R. (2020). Construction workers' situational awareness – An overlooked perspective. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, 937–948. <https://doi.org/10.24928/2020/0022>
- Grupo de Trabajo BIM de Colombia. (2020). Estrategia Nacional BIM 2020-2026. Recuperado de <https://bim.presidencia.gov.co/static/files/BIM-Colombia.pdf>
- Hamzeh, F. R., Tommelein, I. D., Ballard, G. y Kaminsky, P. M. (2007). *LOGISTICS CENTERS TO SUPPORT PROJECT- BASED PRODUCTION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY*. 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (Vol. 33).
- Hasan, A., Baroudi, B., Elmualim, A. y Rameezdeen, R. (2018). Factors affecting construction productivity: a 30 year systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(7), 916–937. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2017-0035>
- Hickson, B. G. y Ellis, L. A. (2014). Factors affecting Construction Labour Productivity in Trinidad and Tobago. *The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago*, 42(1), 4–11.
- Holmström, J., Ketokivi, M. y Hameri, A. P. (2009). Bridging practice and theory: A design science approach. *Decision Sciences*, 40(1), 65–87. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x>
- ICONTEC y ISO. (2015). Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 9001. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- Isah, Y., Shakantu, W. y Ibrahim, S. (2020). Utilisation of forecasting technology for improving construction logistics in Nigeria. *Acta Structilia*, 27(1), 1–28.
- Jacobsson, M. y Wilson, T. L. (2018). Revisiting the construction of the Empire State Building: Have we forgotten something? *Business Horizons*, 61(1), 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.09.004>
- Josephson, P. y Saukkoriipi, L. (2007). Waste in construction projects - call for a new approach. *Chalmers University of Technology*, 1–57.
- Karlsson, T. y Josephson, P. (2014). Tools to Prevent Waste in Material Flow in Housing Projects. *17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, 757–768. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35548-6>
- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. *CIFE - CENTER FOR INTEGRATED FACILITY ENGINEERING*, 72.
- Latorre, A. (2015). *Filosofía Lean en la construcción*. Universidad Politècnica de València. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/handle/10251/50732>
- Li, K., Luo, H. y Skibniewski, M. (2019). A non-centralized adaptive method for dynamic planning of construction components storage areas. *Advanced Engineering Informatics*, 39, 80–94.

- Liu, L., Georgakis, P. y Nwagboso, C. (2007). A Theoretical Framework of an Integrated Logistics System for UK Construction Industry. En *IEEE International Conference on Automation and Logistics* (pp. 1812–1817). IEEE. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/4338868/>
- Maraq, M., Sacks, R. y Spatar, S. (2020). Empirical assessment of the impact of VDC and Lean on environment and waste in masonry operations. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, 985–996. <https://doi.org/10.24928/2020/0040>
- Marques, P. A. y Requeijo, J. G. (2009). SIPOC and ISO 9000 Quality Management Systems. *3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, (Iso 9001), 1229–1238.
- McKinsey Global Institute. (2017). Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity. *McKinsey & Company*, (February), 1–153. <https://doi.org/10.1080/19320248.2010.527275>
- Mishra, P. y Sharma, R. K. (2014). A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 31(5), 522–546. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2012-0089>
- Noguera, S. y Tovar, J. (2019). ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN LOS SISTEMAS SEMI INDUSTRIALIZADOS DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO CASO DE ESTUDIO CONSTRUCTORA AAA S.A. UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- Perea, Y. A. (2012). *Sistemas constructivos y estructurales aplicados al desarrollo habitacional*. UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN.
- Ping, H., Yin, S. Y. L. y Li, S. (2006). Developing a Resource Supply Chain Planning System for Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(4), 393–407. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:4\(393\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:4(393))
- Pinheiro de Lima, O., Breval Santiago, S., Rodríguez Taboada, C. M. y Follmann, N. (2017). Una nueva definición de la logística interna y forma de evaluar la misma. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(2), 264–276.
- Pinzón Rincón, J. y Galvis Cárdenas, A. (2011). IMPLEMENTACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN DE PÉRDIDAS EN LA ETAPA DE ESTRUCTURA BAJO LA METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA ESCUELA.
- Porrás Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G. y Galvis Guerra, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 11(1), 32–53.
- Power, W., Sinnott, D. y Mullin, A. (2020). Improving commissioning and qualification delivery using Last Planner® System. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*. <https://doi.org/10.24928/2020/0016>
- Roca, J. R. (2017). *Evaluación de la gestión logística para mejorar la productividad en la construcción de viviendas de la empresa inversiones Alfaro Magdalena*. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL-LIMA PERÚ.
- Romero, L., León, J., Alvarado, D., Llanes, M. y Sanz, E. (2018). Almacén : área clave del proceso de producción en una empresa del ramo de la construcción al noroeste de

- México. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 6(20), 81–98. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2150/215057003005/215057003005.pdf>
- Ruiz, A. P., Paz, E. F. y Rojas, M. L. (2018). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PMI PARA PROYECTO DE CONSTRUCCION VERTICAL DE USO RESIDENCIAL, CASO DE ESTUDIO: PROYECTO KD MARLY*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Sánchez Upegüi, A. (2010). Introducción: ¿qué es caracterizar? *Fundación Universitaria Católica del Norte. Medellín. Colombia*.
- Sears, K., Sears, G. A. y Clough, R. H. (2008). *Construction Project Management* (5a ed.). John Wiley & Sons.
- Seppänen, O. y Peltokorpi, A. (2016). A new model for construction material logistics: From local optimization of logistics towards global optimization of on-site production system. *IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 73–82.
- Shehata, M. E. y El-Gohary, K. M. (2011). Towards improving construction labor productivity and projects' performance. *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), 321–330.
- Spillane, J. P. y Oyedele, L. (2017). Effective material logistics in urban construction sites: A structural equation model. *Construction Innovation*, 17(4), 406–428. <https://doi.org/10.1108/CI-11-2015-0063>
- Sundquist, V., Gadde, L. E. y Hulthén, K. (2017). Reorganizing construction logistics for improved performance. *Construction Management and Economics*. <https://doi.org/10.1080/01446193.2017.1356931>
- Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O., Viitanen, A. y Lehtovaara, J. (2019). Combining takt production with industrialized logistics in construction. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*, 299–310. <https://doi.org/10.24928/2019/0156>
- Tezel, A., Koskela, L. y Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: A literature synthesis. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2015-0071>
- Tunji-Olayeni, P. F., Afolabi, A. O., Eshofonie, E. E. y Ayim, B. A. (2018). Dataset for material logistics on construction sites. *Data in Brief*, 20, 1142–1147. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.08.194>
- Vieira, H. F. (2006). *Logística Aplicada à Construção Civil* (1a ed.). São Paulo, Brasil: Editora Pini LTDA.
- Whitlock, K., Abanda, F. H., Manjia, M. B., Pettang, C. y Nkeng, G. E. (2021). 4D BIM for Construction Logistics Management. *CivilEng*, 2, 325–348. <https://doi.org/10.3390/civileng2020018>

7. GLOSARIO

7.1 Sistema Constructivo

7.1.1 Sistema Constructivo Industrializado

Los sistemas constructivos industrializados están basados en el diseño de producción mecanizada de subsistemas y componentes integrados en un proceso global de montaje y ejecución en serie para conformar una edificación (Perea, 2012)

Las características encontradas de este sistema constructivo son; la rápida y progresiva ejecución debido al orden y a la mecanización en los procesos, reduce la mano de obra, permite un mejor control de la producción y del inventario, ya que se busca una normalización a través de elementos modulares y prefabricados, por tanto, hay una mayor precisión en el cronograma de obra y el presupuesto. También contribuye a una construcción más limpia y amigable con el medio ambiente, generando menos desperdicios y aumentando la productividad de las empresas.

7.1.2 Sistema Constructivo semi Industrializado

Este no cumple con todas las características para ser industrializado, ya que se utilizan materiales típicos de la construcción tradicional, sin embargo, en el proceso constructivo se usa el encofrado de la producción industrializada, reduciendo tiempos de construcción y creando procesos en serie, lo que permite construir a un ritmo de construcción similar al del sistema industrializado.

7.1.3 Punto de producción

En una obra de construcción, el punto de producción es el núcleo alrededor del cual se desarrolla un conjunto de actividades para la producción de un resultado específico, dichas actividades de acuerdo a la filosofía *Lean Construction* se caracterizan como: productivas ;en las cuales se realiza la producción de una unidad de construcción, estas dan valor agregado al producto final ;contributivas, las cuales son actividades de apoyo necesarias para la ejecución de las actividades productivas, y no contributivas, a donde pertenecen las actividades que no clasifican en las categorías anteriores, las cuales son consideradas como pérdidas ya que no

son necesarias y deberían eliminarse (Luis Fernando Botero Botero y Álvarez Villa, 2003).

7.2 Filosofía Lean Construction (LC)

Es un enfoque en la gestión de proyectos de construcción desarrollado por el profesor Lauri Koskela en el año 1992, el cual se basó en el sistema de producción Lean de Toyota. Fundamentalmente lo que propone es cambiar la concepción de los procesos de construcción, de modo que no se vean solo como un modelo de transformación, sino que se incluyan los conceptos de flujo y la generación de valor, como base para crear un sistema de producción que permita optimizar los flujos, generando valor al producto y mejorando los tiempos de entrega. El concepto de valor se entiende como la eliminación de todo lo que produzca pérdidas en los procesos constructivos (Porras Díaz et al., 2014).

7.2.1 Productividad

Según Roca (2017) "Es el cociente de la división de la producción entre los recursos usados para lograr dicha producción". Esta relación se convierte en un indicador de medida de eficiencia muy importante ya que permite ver el grado de aprovechamiento de los recursos y la capacidad de una organización para agregar valor a lo que consume.

7.2.2 Herramientas

7.2.2.1 Justo a tiempo (Just-in-time)

Es un método de gestión de manufactura desarrollado por los japoneses, con el fin de aumentar la eficiencia y la eficacia de sus procesos. Esta metodología se fundamenta en el principio de que ningún insumo debe llegar al lugar en que se solicitó sin que sea inmediatamente utilizado, en la cantidad y calidad correcta, y en el momento exacto, es decir, un sistema de producción sin stock. En este contexto, se considera que cada ejecutor de un proceso actúa como si el ejecutor del proceso subsiguiente fuera su cliente (Vieira, 2006).

7.2.2.2 Sistema *pull*

Se fundamenta en el concepto de “arrastrar” la producción, esto quiere decir que la ejecución se inicia en respuesta a las solicitudes de los clientes, por lo cual, la demanda se conoce con certeza y es la que determina los niveles de producción y con ello el flujo de los procesos (Vieira, 2006) De esta manera la producción es jalónada por la demanda del cliente y se podría evitar la acumulación de inventarios.

7.2.2.3 Sistema *push*

Este es básicamente el sistema de trabajo que se ha adoptado en la mayoría de los proyectos de construcción tradicionalmente, su fundamento de “empuje” enfocado en la previsión de la demanda, donde la producción es la que determina el tiempo que se demora en entregar el producto al cliente (Fonseca, 2011). La programación en este método se realiza de manera que cada actividad empuja a su predecesora para cumplir con el plazo establecido.

7.2.2.4 Sistema del último planificador (*Last Planner System*)

También llamado sistema del último planificador, fue desarrollado en el marco de la filosofía *Lean Construction*, por los investigadores Glen Ballard y Greg Howell, presentando cambios fundamentales en la manera de planificar y controlar los proyectos de construcción con el objetivo de mejorar el proceso de planificación. Una planeación adecuada es un método efectivo para incrementar la productividad, por ello se plantea superar los obstáculos más presentes en ésta como lo son, la falta de indicadores de desempeño, no analizar los errores y el hecho de no tomar en cuenta en ella al personal encargado de realizar las actividades.(Botero y Alvarez, 2005).

En este sistema se introduce adicionalmente al plan general (Plan maestro) que se realiza generalmente, una planificación intermedia y semanal y el indicador de desempeño mediante el seguimiento al porcentaje de asignaciones completadas (PAC) como se muestra en la Figura.

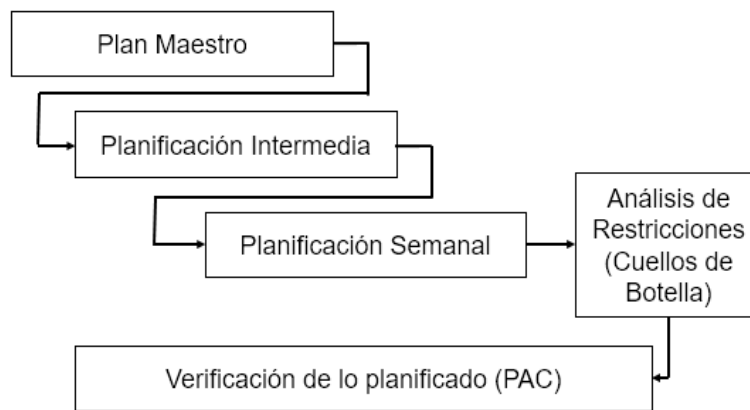


Figura 7.1. Proceso de planificación Last Planner.
Fuente: Botero y Alvarez (2005)

7.2.2.5 Layout de obra

En un proyecto de construcción es un elemento estratégico muy importante ya que a través de éste se puede planear la distribución de todos los elementos y espacios que hacen parte de la obra, instalaciones, almacenamiento, pasillos, etc. (Vieira, 2006). Con el propósito de optimizar el flujo de materiales, ya que implica la correlación de equipos y personas, mejorar la utilización del espacio, conservando las condiciones de satisfacción, seguridad y la capacidad de ser flexible a los cambios que se presentarán en las diferentes fases del proyecto (Fonseca, 2011).

7.2.2.6 Diagrama de Ishikawa o espina de pescado

Esta herramienta *Lean Construction* permite visualizar las causas de un problema de un proceso, mediante una representación gráfica. Orienta en la toma de decisiones, ya que permite detallar con mayor claridad las variables que intervienen en las causas de un problema, con el propósito de llegar a la raíz y proponer las bases para alcanzar un desempeño eficaz del proceso en estudio, (Noguera y Tovar, 2019).

5”S”: Esta herramienta, cuyo nombre proviene de la traducción de Seiri (organización), Seiton (orden), Seiso (limpieza), Seiketsu (control visual) y Shitsuke (Disciplina), tiene el objetivo de establecer una cultura de bienestar organizacional,

basados en que un ambiente desordenado provoca la pérdida de eficacia,(Latorre, 2015).

Six sigma: Esta metodología tiene como objetivo mejorar los procesos para hacerlos más productivos, se enfoca en la calidad y sigue el ciclo DMAIC, que significa Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar. Enmarcado en este ciclo se consigue la mejora, por tanto, es necesario seguir los siguientes pasos: definir; para establecer el problema y el valor. Medir; para conocer rendimientos y cuanto se esperan mejorar, mapear el proceso. Analizar; se debe identificar la causa raíz y cómo mejorar la situación. Mejorar; se hacen los cambios y las correcciones necesarias. Controlar; es necesario establecer medidas para garantizar el control de las mejoras y poder cumplir el objetivo, (Mishra y Sharma, 2014).

Gemba o paseo Gemba

El paseo Gemba es una estrategia dentro de la filosofía Lean, que se fundamenta en ir al sitio de producción y observar los procesos para poder comprender su desarrollo, los problemas e identificar oportunidades de mejora.

Prueba de los cinco minutos

Esta prueba es una herramienta de muestreo usada en la filosofía Lean Construction, la cual consiste en tomar numerosas mediciones de tiempos de una operación constructiva por 5 minutos y clasificar las actividades realizadas durante ese periodo en productivas, contributivas y no contributivas o desperdiciadoras. Botero y Álvarez (2003) recomiendan esta herramienta para medir de manera indirecta la productividad, debido a la facilidad de realizarla y a que permiten identificar causas de pérdidas que se pueden transformar en oportunidades de mejora.

Gestión visual (Visual managment): Es una estrategia de comunicación efectiva, en función de mantener un control visual en la producción. Se puede implementar

siempre que exista una necesidad de comunicación e interacción entre elementos humanos y de proceso (Tezel et al., 2016), (Brandalise et al., 2018) es importante como apoyo en el proceso de mejora continua ya que su objetivo es permitir que el estándar sea aplicable y reconocer una desviación inmediatamente. Para su aplicación se deben conocer las necesidades de información de la audiencia objetivo y la forma de integrar la herramienta en las rutinas de la empresa, (Koskela, 1992).

Jidoka: su principal objetivo es la automatización con toque humano, asegurando el control de calidad en el punto de producción bajo un sistema que alerta sobre un problema en el proceso. Esta herramienta permite detener el proceso, encontrar la causa raíz mediante un análisis y eliminarla, está basado en una filosofía de cero defectos (Latorre, 2015).

Mapeo de Flujo de Valor (VSM): Esta es una herramienta de representación gráfica que permite obtener una visión global del proceso e integrar flujos logísticos, de materiales y de información en una figura, para poder analizar un proceso e identificar el valor que se aporta y las oportunidades de mejora. (Latorre, 2015)

Kanban, kaizen y SMED; herramientas Lean para diseñar el estado futuro.

Lead time (tiempo de ciclo): es el tiempo que toma la ejecución completa de un proceso.

Kaizen (mejora continua); El enfoque de mejora continua normalmente busca eliminar los cuellos de botella, reducir la variabilidad y el tiempo del ciclo, eliminar las actividades que no agregan valor, realizar una revisión permanente de las necesidades del cliente en cada actividad, mantener la correcta sincronización de las partes del proceso y generar confiabilidad (Koskela, 1992)

Kanban (tarjetas visuales); Es un término japonés que equivale a etiqueta de instrucción. Permite gestionar los procesos y tareas a través de herramientas

visuales como tarjetas y tableros (físicos o digitales) con el objetivo de mejorar el flujo de trabajo de un equipo.

Sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, Por sus siglas en inglés) Esta herramienta integra la información de las áreas, funciones y procesos de una empresa en una sola plataforma, dando como resultado una mayor productividad gracias a que permite alcanzar una mejor eficacia y eficiencia en el desarrollo de los procesos, a través de módulos flexibles con capacidad de compartir datos e información (Aboabdo, Aldhoiena y Al-Amrib, 2019).

Respecto al uso de materiales, esta herramienta integra los principios de la planificación de recursos, donde los sistemas están diseñados para identificar, planificar, programar y controlar los recursos necesarios para la fabricación de un producto. Se convierte en la principal herramienta de tecnología de la información para una empresa, ya que permite obtener y unificar toda la información de manera confiable y transparente, la cual sirve de base para tomar decisiones acertadas en cualquier momento, logrando ventajas como eliminación de redundancias, reducción de tiempos en las operaciones, eficiencia y flexibilidad (Vieira, 2006).

8. ANEXOS

A.1. Entrevistas realizadas

ENTREVISTA ÁREA DE PLANIFICACION Y CONTROL

1. ¿Diseñan ustedes un plan logístico antes del inicio del proyecto, en la etapa de planificación?
2. Las personas que construyen y están materializando el proyecto, ¿se vieron involucradas en los procesos de construcción del plan general y en la programación?
3. ¿Qué consideran en ese plan?
4. ¿Cómo se integra ese plan logístico al presupuesto?
5. ¿Cómo se integra el plan logístico al programa de trabajo? ¿Qué método de control de obra usan?
6. ¿Se hace una programación de abastecimiento de materiales?
7. ¿Las cantidades exactas(teóricas) se tienen en la planificación? Si no, ¿cuándo?
8. ¿Todos los materiales tienen una especificación técnica?
9. ¿Se tienen proveedores confiables identificados para cada tipo de material?
10. ¿En el plan de trabajo se construye un layout de obra o planos de localización de instalaciones? ¿Cómo los realizan?
 - 10.1. ¿Se definen las rutas de entrada, salida, portería, puntos de descarga?
 - 10.2. ¿Se modifica a medida que avanza el proyecto? ¿Se tienen en cuenta en el plan inicial, los costos y el tiempo de estas modificaciones?
 - 10.3. ¿Contemplan el uso de equipo para el transporte de material al punto de producción desde el momento de la planificación?
11. ¿Han hecho algún estudio de tiempos (estudio de pérdidas) Para identificar una mejora en los esquemas logísticos? Si la respuesta es sí, ¿Cómo lo han hecho? ¿qué resultados obtuvieron?
12. ¿Qué medios de comunicación usan entre los frentes de trabajo, el almacén y administración? manejan algún software? ¿Realizan comités?
13. ¿Se dan capacitaciones en lo relacionado con el método constructivo a los trabajadores del proyecto? ¿O se parte de pensar que ya el subcontratista y su equipo saben exactamente qué hacer?
14. ¿Manejan indicadores para medir el rendimiento de los diferentes subcontratistas? ¿Manejan un sistema de incentivos por labor cumplida?

15. ¿Es frecuente que se presenten situaciones en las que se deban realizar cambios en el proyecto cuando ya está en ejecución? (Ejemplo cruce entre elementos estructurales con elementos hidrosanitarios o que el cliente solicite un cambio).
16. ¿Cómo es la comunicación con los implicados en la ejecución del sistema logístico? ¿Hay retroalimentación?, ¿se verifica que efectivamente se realice de acuerdo con el plan?
17. Con la intención de identificar los diferentes actores ¿Podría hacer una descripción muy general del funcionamiento de la cadena de suministro para el proyecto a visitar?
18. ¿Qué problemas y restricciones se presentan en la planificación de las operaciones de abastecimiento?

ENTREVISTA ÁREA DE COMPRAS Y A CONTRATACIÓN

1. Hay un nuevo proyecto en la empresa;
 - 1.1. ¿En qué momento entra el equipo de compras?
 - 1.2. ¿Qué entradas reciben y de qué equipo las reciben para poder empezar a desempeñar su función?
 - 1.3. ¿Cuáles son los procesos que deben realizar relacionados al abastecimiento y la logística?
2. ¿Cuáles son las salidas del área de compras y a quién se lo deben entregar?
3. ¿Se hace una programación de abastecimiento de materiales?
4. ¿Qué riesgos hay en la operación de compras?
5. ¿Las cantidades exactas(teóricas) se tienen en la planificación? Si no, ¿cuándo?
6. ¿Todos los materiales tienen una especificación técnica?
7. ¿Se tienen proveedores confiables identificados para cada tipo de material?
8. En caso de que uno de los proveedores falle ¿se tienen proveedores alternativos?
9. ¿Suelen trabajar con los mismos proveedores? Si realizan muchos cambios ¿Qué factores influyen en esos cambios?
10. ¿Qué factores se tienen en cuenta para elegir a un proveedor?
11. ¿Qué limitaciones hay con los proveedores? Por ejemplo, frecuencia de pedidos mínima, cantidad mínima, etc.
12. ¿Podrías darme una breve descripción de la función del equipo de compras, cómo se realiza el plan de gestión de las adquisiciones, cómo se ejecuta y cómo se controla?
13. ¿Qué problemas y restricciones se presentan en el desarrollo de su operación?

ENTREVISTA ÁREA DE ALMACEN Y PATIERO

1. ¿Podría darme una breve descripción de la función de Almacén?
2. Hay un nuevo proyecto en la empresa, ¿En qué fase del proyecto empieza su participación?

- 2.1. ¿Qué documentos reciben y de qué área los reciben para poder empezar a desempeñar su función (Cuales son las entradas para su proceso)?
- 2.2. ¿cuáles son los procesos que deben realizar relacionados al abastecimiento y la logística?
- 2.3. ¿Cuáles son las salidas, lo que deben entregar y a quién?
3. ¿Cómo es la relación entre el área de almacén y el cronograma de ejecución del proyecto?
4. Hay una programación de compras, ¿participa en esta y de qué manera?
5. ¿Con qué otros equipos de trabajo se relacionan y cómo?
6. ¿Tienen algún indicador que mida su gestión?, ¿Cada cuánto presentan reportes de su gestión?
¿Qué datos presentan en los reportes?
7. ¿Cómo se realizan los pedidos al almacén por parte de los frentes de trabajo?
8. ¿cómo es el proceso de entregas del acero?
9. ¿Quién y cómo transportan el material desde el almacén al frente de obra?
10. ¿Cuentan con cuadrillas logísticas?

Si la respuesta es sí:

¿Cómo funcionan las cuadrillas logísticas?, ¿qué se hace?, ¿Cómo funciona la entrega de materiales en el almacén y cómo se entregan en el sitio de producción?

11. ¿Cómo manejan el inventario?, ¿Cada cuanto lo realizan?, ¿Como lo controlan?
12. Tienen estandarizada alguna estrategia para la organización del almacén desde la constructora o esta se deja en manos del almacenista, ¿Cada cuanto se hace inspección del almacén?
13. ¿Tienen estandarizada alguna estrategia para la organización del acero, tomando en cuenta que hay poco espacio y mucho material?
14. ¿Cómo controlan los materiales que no están en un lugar cerrado, por ejemplo, los materiales pétreos y el acero?
15. ¿Se programan las entregas a los puntos de producción?

Si la respuesta es sí:

¿Cómo lo hacen?

16. El modo de aprovisionamiento del almacén al punto de producción, ¿Se tiene en cuenta con anterioridad? ¿O es algo que se organiza sobre la marcha?
17. ¿Qué problemas y restricciones se presentan en el desarrollo de esta operación?

ENTREVISTA ÁREA DE EQUIPOS

1. ¿Podría darme una breve descripción de la función de equipos?
2. Hay un nuevo proyecto en la empresa, ¿En qué momento entra a participar el área de equipos?
 - 2.1. ¿Qué reciben y de qué área reciben para poder empezar a desempeñar su función (¿Cuáles son las entradas para su proceso)?
 - 2.2. ¿cuáles son los procesos que deben realizar relacionados al abastecimiento y la logística?
 - 2.3. ¿Cuáles son las salidas, lo que deben entregar y a quién?

3. ¿Cómo es la relación entre el área de equipos y el cronograma de ejecución del proyecto, hay una programación de equipos?
4. ¿Cuáles son los factores que se tienen en cuenta al momento de elegir contratar/usar un equipo? (Ejemplo: Disponibilidad, capacidad, tipo de trabajo, etc....) ¿Esos factores tienen alguna ponderación?
5. ¿En caso tal de que un equipo falle, tienen contemplado un plan B?
6. ¿Cómo se programa el mantenimiento de los equipos?
7. ¿Con qué otros equipos de trabajo se relacionan y cómo?
8. ¿Tienen algún indicador que mida su gestión?, ¿Cada cuánto presentan reportes de su gestión? ¿Qué datos presentan en los reportes?
9. ¿Contratan/Usan equipos relacionados específicamente con logística para las obras? ¿Cuáles?
10. ¿Qué problemas se presentan en la programación de los equipos para la operación de abastecimiento?

ENTREVISTA ÁREA DE PRODUCCIÓN-CONTRATISTA

1. ¿Conocen el layout de obra y la ubicación de cada uno de los elementos de la obra?
2. ¿Cómo planean el uso de equipo para el transporte de material al punto de producción? Por ejemplo, el uso de la grúa para mover los materiales, o cómo deciden si un material se lleva a través de la grúa o de manera manual
3. ¿Como realizan la logística de aprovisionamiento internamente?
 - 3.1. ¿Como se realizan los pedidos al almacén por parte de los frentes de trabajo?
 - 3.2. ¿Quién y cómo transportan el material desde el almacén al frente de obra?
4. ¿Cuentan con cuadrillas logísticas?

Si la respuesta es sí:

¿Como funcionan las cuadrillas logísticas?, que se hace?, ¿Como funciona la entrega de materiales en el almacén y como se entregan en el sitio de producción?
4. ¿Cómo programa la cuadrilla de trabajo?
5. ¿Qué materiales usan, y cuál es el que más genera problemas en el manejo?
- 5.) ¿Qué medios de comunicación usan entre los frentes de trabajo, el almacén y administración? manejan algún software? ¿Participa en algún comité o reunión?
6. ¿Qué problemas presenta respecto al abastecimiento de los materiales, que cree que estaría bien mejorar en el sistema?

Nota: Al gerente de construcción, el director de obra y al residente se le realizo la entrevista con las preguntas de todas las áreas.

A.2. Matrices de caracterización de los procesos de logística y abastecimiento

Tabla A.2. 1. Matriz de caracterización del proceso de Planificación de la logística.

Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la operación	Planificación de la logística		Responsable	Planificación y control	
Objetivo de la operación	Diseñar un plan de soporte y abastecimiento de los recursos necesarios para la ejecución y el desarrollo de las actividades constructivas del proyecto.		Alcance	Esta operación inicia con el análisis de la información del proyecto, elabora el diseño de sitio, planifica los recursos y la logística necesaria para la ejecución de la obra	
Proveedor	Entradas	Tareas	Salidas		Clientes
* Gerencia * Planeación y control * Presupuestos	* Políticas institucionales *Cronograma de obra *Diseños arquitectónicos y estructurales *Diseños de redes e instalaciones * Planos generales * EDT * Levantamiento topográfico * Rutas de acceso	* Analizar cómo se desarrollará la ejecución del proyecto. * Planear el suministro de concreto, tomar decisión sobre compra o producción, ubicación, transporte. * Planificar el sistema de construcción, uso de formaletas * Planear obras preliminares y su ubicación; campamentos, oficinas, almacén, instalaciones provisionales. *Definir equipos necesarios para el movimiento de materiales en el proyecto. *Definir materiales y especificaciones técnicas de estos. *Planear compras de materiales críticos	*Diseño de layout de obra *Equipo de logística * Presupuesto de actividades * Cantidad de formaletas a usar * Decisión de equipos a usar en transporte horizontal y vertical. * Movimiento de equipos como torre grúa, malacate, hasta cubrir todo el espacio del proyecto. *Lista de materiales con sus especificaciones técnicas * Contrato o compra de equipos		*Director de obra *Residente de obra *Planeación y control *Contratistas *Compras *Equipos *Proveedores
Recursos	Humano: Gerente, equipo de planificación y control, presupuestos, compras, director de obra, residente, equipos, contratistas y clientes. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Layout de obra, presupuesto, cronograma de obra, planos generales.	
Indicadores de gestión	*Curva de avance	Observaciones: La planeación detallada del sitio, del suministro de materiales y su logística, la complementan en la obra, por parte del director y el residente, quienes organizan el espacio de acuerdo con el desarrollo del proyecto, la programación de obra y el esquema general del layout con el que se cuenta, además de realizar el cálculo exacto de cantidades, compararlo con el presupuesto y generar los requerimientos del material.			

Tabla A.2. 2. Matriz de caracterización del proceso de Realización de compras
Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la operación	Realización de compras		Responsable	Área de Compras
Objetivo del proceso	Realizar las compras tomando en cuenta los criterios establecidos por la empresa manteniendo la mejor relación entre calidad, precio, tiempo, cumplimiento y forma de pago para suplir los requerimientos de materiales realizados desde la obra de manera continua y eficiente.		Alcance	Se realiza la selección de los proveedores, las cotizaciones y todo el proceso relacionado a las órdenes de compra y el seguimiento al desempeño de los proveedores.
Proveedor	Entradas	Tareas	Salidas	Clientes
* Planeación y control * Presupuestos * Almacenes de obra * Residentes de obra	* Presupuesto * Cronograma de obra * Programación de obra * Requisición de compras	* Evaluar a proveedores * Registrar proveedores * Establecer acuerdos comerciales con proveedores * Evaluar desempeño de proveedores * Realizar cotizaciones * Realizar análisis comparativos * Generar orden de compra * Evaluar gestión de compras	* Registro de proveedores * Orden de compra * Calificación de compras * Calificación de proveedores	* Planificación y control * Director de obra * Residente * Compras * Almacén * Proveedores * Equipos
Recursos	Humano: Jefe de compras, auxiliares de compras, equipos. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Especificaciones técnicas, presupuesto, cronograma de obra, formatos de evaluación a proveedores, requerimientos de materiales, órdenes de compra
Indicadores de gestión	* Evaluación de proveedores * Tiempo de elaboración de orden de compra * Evaluación de satisfacción de los usuarios con el proceso de gestión de compras * Gestión del ahorro en compras. Valor en compra/ valor en presupuesto.	Observaciones:		

Tabla A.2. 3. Matriz de caracterización del proceso de Requisición de materiales
Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la operación	Requisición de materiales		Responsable	Área de almacenamiento/área de producción
Objetivo de la operación	Prever las compras para realizar una programación a través de las requisiciones y garantizar el aprovisionamiento de los recursos necesarios en el momento, calidad y cantidad requerida.		Alcance	Calcula cantidades de obra y de materiales, compara con el presupuesto, planifica los pedidos y realiza los requerimientos de materiales de acuerdo con la programación de la obra.
Proveedor	Entradas	Tareas	Salidas	Cientes
*Residente de obra *Director de obra *Contratistas *Proveedores *Compras	*Cronograma de obra * Diseños *Layout de obra *Ofertas logísticas *Rotación de inventario permitida	*Calcular y comparar cantidades de obra para pedir materiales *Programar materiales *Generar requisición *Realizar seguimiento a requisición *Coordinar recepción de materiales con el proveedor	*Requisición de materiales	*Compras *Proveedores
Recursos	Humano: Jefe de almacén, auxiliares, herreros, equipos, contratistas. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Layout de obra, presupuesto, cronograma de obra, planos generales, especificaciones técnicas, requisiciones, órdenes de compra.
Indicadores de gestión	-	Observaciones: para realizar las requisiciones, los residentes deben realizar un cálculo de cantidades y compararlo con las cantidades del presupuesto, esto para verificar que lo planeado corresponda a lo que finalmente se va a ejecutar.		

Tabla A.2. 4. Matriz de caracterización del proceso de Recepción de materiales
Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la operación	Recepción de materiales		Responsable	Área de almacenamiento
Objetivo de la operación	Recibir los materiales y verificar el estado, las especificaciones, calidad y cantidad de estos de acuerdo con la orden de compra y la documentación presentada por los proveedores para realizar el ingreso, descargar y ubicar en el lugar designado para cada uno.		Alcance	Este proceso inicia cuando el proveedor envía los materiales, se encarga de realizar las verificaciones pertinentes para el ingreso a obra y termina con la descarga de materiales y el ingreso a inventario de estos.
Proveedor	Entradas	Tareas	Salidas	Clientes
*Proveedores *Compras *Residente de obra	*Requisición de materiales *Orden de compra *Especificaciones del material *Materiales *Facturas	* Realizar la recepción de materiales * Realizar la verificación de materiales * Realizar el control de documentación * Realizar la descarga de materiales	* Ingreso de materiales a inventario	*Almacén *Compras *Residente de obra
Recursos	Humano: Jefe de almacén, auxiliares, herreros, equipos, contratistas. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Orden de compra, factura, especificaciones técnicas, requisiciones.
Indicadores de gestión	*Entregas correctas	Observaciones:		

Tabla A.2. 5. Matriz de caracterización del proceso de Almacenamiento
Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la operación	Almacenamiento		Responsable	Área de almacenamiento	
Objetivo de la operación	Gestionar de manera eficiente el almacenamiento de los materiales y la información correspondiente.		Alcance	Posterior al proceso de recepción, se realiza la ubicación de los materiales, debe controlar el inventario hasta el momento que los materiales sean requeridos en el frente de producción.	
Proveedor	Entradas	Tareas	Salidas		Cientes
*Gerencia *Compras *Proveedores	*Materiales *Especificaciones y recomendaciones del fabricante *Layout de obra *Políticas de almacenamiento de la empresa	*Ubicar los materiales *Almacenar los materiales *Manipular los materiales *Realizar el control de inventario *Clasificar materiales *Administrar espacios *Mantener stock de materiales *Conservar los materiales	*Inventario actualizado		*Almacén *Residente de obra *Director de obra
Recursos	Humano: Jefe de almacén, auxiliares, herreros, equipos, contratistas. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Kardex, layout de obra, cronograma de obra, planos generales, especificaciones técnicas, requisiciones, órdenes de compra.	
Indicadores de gestión	*Rotación de inventario	Observaciones:			

Tabla A.2. 6. Matriz de caracterización del proceso de Solicitud de materiales
Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la operación	Solicitud de materiales		Responsable	Área de producción
Objetivo de la operación	Realizar las solicitudes de materiales de acuerdo con la programación del frente de trabajo, gestionar el vale hasta que sea autorizado y entregado al almacén.		Alcance	Este proceso inicia con la identificación de una necesidad de material en el frente de producción para las actividades programadas, se realiza la solicitud y se verifica la creación del vale, su autorización y entrega al almacén.
Proveedor	Entradas	Tareas	Salidas	Clientes
*Residente de obra *Contratistas	*información sobre necesidades	*Programar proceso de solicitud de materiales * Verificar solicitudes de materiales *Diligenciar vale *Asignar material a la actividad para la que se solicita *Enviar vale al almacén	*Vales autorizados	*Almacén *Residente de obra
Recursos	Humano: Jefe de almacén, auxiliar, herrero, contratista. Infraestructura: computadores, oficinas, equipos de transporte de materiales, sistemas de información, software.		Documentos asociados	Cronograma de obra, especificaciones técnicas, información y recomendaciones del producto.
Indicadores de gestión		Observaciones:		

Tabla A.2. 7. Matriz de caracterización del proceso de Realización de entregas
Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la operación	Realización de entregas		Responsable	Área de almacenamiento	
Objetivo de la operación	Realizar el proceso de entregas de manera ordenada, rápida y precisa, siguiendo las normas de manejo de los materiales y verificando el diligenciamiento de los documentos necesarios para dar salida a los materiales.		Alcance	Este proceso inicia una vez se recibe la solicitud de materiales a través del vale autorizado, se debe realizar la gestión de entrega de los materiales al solicitante hasta que este los tome y firme el recibido.	
Proveedor	Entradas	Tareas	Salidas		Clientes
*Almacén *Residente de obra *Contratistas	*Vale autorizado *Inventario	*Realizar la recepción y verificación de vale *Verificación de existencia de materiales *Alistar materiales *Realizar la entrega de materiales *Transcribir vale y dar salida del material en inventario	*Entrega de material *Salida de material del inventario		*Contratistas *Almacén *Residente de obra
Recursos	Humano: Jefe de almacén, auxiliares, herreros, equipos, contratistas. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Cronograma de obra, planos generales, especificaciones técnicas, vales.	
Indicadores de gestión		Observaciones:			

Tabla A.2. 8. Matriz de caracterización del proceso de Distribución
Fuente: Elaboración propia.

Nombre de la operación	Distribución		Responsable	Área de producción	
Objetivo de la operación	Recibir los materiales de parte de almacén, verificar que esté de acuerdo con la solicitud hecha en el vale, el cumplimiento de las condiciones de calidad y gestionar el transporte hasta el punto de producción para entregarlos al frente de obra.		Alcance	Este proceso inicia en el almacén, con la entrega de los materiales; se reciben, verifican y transportan hasta el punto de producción, siguiendo las normas de seguridad y el correcto manejo de estos.	
Proveedor	Entradas	Tareas	Salidas		Clientes
*Almacén *Contratistas	*Vale autorizado *Materiales	*Recibir materiales *Verificar que esté de acuerdo con el vale *chequear visto bueno del residente *Trasladar materiales *Disponer materiales en punto de producción	*Materiales puestos en sitio		*Contratistas
Recursos	Humano: Jefe de almacén, auxiliar, herrero, contratista. Infraestructura: computadores, oficinas, equipos de transporte de materiales, sistemas de información, software.		Documentos asociados	Vale, información y recomendaciones del producto, layout de obra.	
Indicadores de gestión		Observaciones:			

A.3. Problemas asociados a las operaciones de logística y abastecimiento

Tabla A.3. 1. Problemas asociados al proceso planificación de la logística
Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
(2007)(Liu et al., 2007)	Débil integración y cooperación entre los integrantes de la cadena de suministro
(Spillane y Oyedele, 2017)	Dificultad para coordinar el trabajo
(Emuze, Smallwood y Han, 2014)	Recurso humano con ausencia de habilidades
Emuze, Smallwood y Han (2014), (Hickson y Ellis, 2014), Campaña (2019), Seppänen y Peltokorpi (2016)	Fallas en el diseño del layout
Campaña (2019), Emuze, Smallwood y Han (2014),(Gomez et al., 2015)	Debilidades en el sistema de transporte de abastecimiento
Emuze, Smallwood y Han (2014), Hasan, Baroudi, Elmualim y Rameezdeen (2018), Campaña (2019), Hickson y Ellis (2014)	Problemas con el uso de los equipos
Sundquist, Gadde y Hulthén (2017), Noguera y Tovar(2019), Campaña (2019)	Falta de habilidades y capacidades de planificación, programación y control del área logística
Campaña (2019)	Inexistencia de roles en logística del sitio
Campaña (2019), Duarte, Escandón y Rodríguez (2014)	Ausencia del área de logística y falta de procesos definidos
Emuze, Smallwood y Han, (2014) Campaña (2019)	Programación inexistente o ineficiente del manejo de los recursos
Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón (2020), Duarte, Escandón y Rodríguez (2014), Hickson y Ellis (2014), Botero y Álvarez(2003)	Deficiencias en la planificación
Duarte, Escandón y Rodríguez (2014) Botero y Álvarez(2003)	Baja productividad
Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie y Ayim, (2018)	Uso de materiales poco comunes

Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie, y Ayim, (2018)	Pobre coordinación entre los miembros del equipo de planeación
Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie, y Ayim, (2018)	Incapacidad para pronosticar acertadamente los periodos de las actividades
Duarte, Escandón y Rodríguez (2014)	Inexactitud en el presupuesto de compras

Tabla A.3.2. Problemas asociados al proceso realización de compras

Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie, y Ayim, (2018)	Falla del proveedor
Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie, y Ayim, (2018)	Suministro de materiales de baja calidad
(Sundquist et al., 2017)	El comercio tradicional está basado en el precio más bajo
Duarte, Escandón y Rodríguez (2014)	Dependencia extrema de proveedores
Duarte, Escandón y Rodríguez (2014)	No hay un proceso para seleccionar los proveedores
Duarte, Escandón y Rodríguez (2014)	Baja diversidad de proveedores
Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie, y Ayim, (2018)	Errores en las ordenes
Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón (2020)	Retraso en la aprobación de materiales/LPS

Tabla A.3.3. Problemas asociados al proceso requisición de materiales

Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón(2020)	Retraso en la adquisición de materiales(por parte del subcontratista o del propietario/JIT)

Tabla A.3.4. Problemas asociados al proceso recepción de materiales
Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Campaña (2019)	Procesos de carga/descarga no definidos
Sundquist et al.,(2017)	Diferentes fórmulas para ordenar, manejar y descargar materiales
Seppänen y Peltokorpi (2016)	Desperdicios por descarga incorrecta de materiales
Campaña (2019)	Inadecuada verificación de especificaciones y calidad de material que llega al sitio
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Excesivo control e inspección

Tabla A.3.5. Problemas asociados al proceso almacenamiento
Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Seppänen y Peltokorpi (2016), Emuze, Smallwood y Han (2014), Bertelsen y Nielsen (1997), Hickson y Ellis (2014)	Pérdidas y daños por manejos o espacios inadecuados
Campaña (2019)	Poco espacio de almacenamiento
Emuze, Smallwood y Han (2014), Li, Luo y Skibniewski (2019)	Manejo de materiales innecesario y reubicaciones
Campaña (2019), Seppänen y Peltokorpi (2016)	Exceso de material en sitio
Ghanem et al., (2018), Campaña (2019)	Manejo múltiple y extenso de materiales
Sundquist et al.,(2017), Dixit, Mandal, Thanikal y Saurabh (2019), Emuze, Smallwood y Han (2014), Hickson y Ellis (2014)	Pobre gestión de materiales
Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón(2020), Noguera y Tovar(2019), Duarte, Escandón y Rodríguez (2014)	Control inadecuado sobre los materiales

Bertelsen y Nielsen (1997)	Mucho hurto
Ghanem et al., (2018)	Clasificación inadecuada de materiales(materiales que no coinciden con las ubicaciones)
Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón(2020)	Procesos internos deficientes/VSM
(Dixit et al., 2019)	Los 5 factores que más influyen en la productividad; herramientas y consumibles, equipos de construcción, gestión de planos, dirección y coordinación, y materiales.
Sundquist et al.,(2017)	Débil integración entre logística interna y externa
Bertelsen y Nielsen (1997), Botero y Álvarez (2003), Pinzón y Galvis (2011) Gómez, Echeverry, Giraldo, Otálora y Cano (2012), Gómez, Granados y Pérez (2015), Añazco y Sánchez (2016), Ghanem et al., (2018), Emuze, Smallwood y Han, (2014) Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón(2020)	Escasez de materiales, causa esperas

Tabla A.3.6. Problemas asociados al proceso solicitud de materiales
Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Error en la especificación de materiales
Hasan, Baroudi, Elmualim, y Rameezdeen, (2018) Dixit, Mandal, Thanikal y Saurabh (2019)	cambios en los pedidos
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Pedido de materiales por debajo o por encima de lo necesario, causa exceso o escasez de material
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Manejo innecesario de herramientas
Karlsson y Josephson (2014)	Pedidos urgentes

Tabla A.3.7. Problemas asociados al proceso realización de entregas
Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Gómez y Morales, (2016) Añazco y Sánchez (2016) Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie, y Ayim, (2018) Emuze, Smallwood y Han, (2014) Campaña (2019) Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón(2020)	Demora en entrega de materiales y componentes
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Esperas por equipos
Bertelsen y Nielsen (1997) Seppänen y Peltokorpi (2016) Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie, y Ayim, (2018) Tetik, Peltokorpi, Seppänen, Viitanen, y Lehtovaara (2019) Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Errores en las entregas de materiales
Seppänen y Peltokorpi (2016)	mano de obra desperdiciada buscando materiales
Seppänen y Peltokorpi (2016)	desperdicios causados por excesivo movimiento de materiales
Hasan, Baroudi, Elmualim, y Rameezdeen, (2016)	No disponibilidad de materiales
Añazco y Sánchez (2016) Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Problemas en la manera como se realizan las entregas causando esperas o congestión

Tabla A.3.8. Problemas asociados al proceso distribución
Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Sundquist et al.,(2017)	Gestión logística ineficiente
Añazco y Sánchez (2016), Spillane y Oyedele (2017), Ghanem et al., (2018)	Métodos de distribución ineficientes
Gómez, Granados y Pérez, (2015)	Distribución ineficiente de materiales
Campaña (2019)	Manejo de material con malas prácticas
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Pobres condiciones de seguridad y salud

Hickson y Ellis (2014) Ghanem et al., (2018)	Interferencia y congestión causado por exceso de materiales y basura
Bertelsen y Nielsen (1997), Botero y Álvarez (2003), Sundquist et al., (2017), Emuze, Smallwood y Han (2014)	Excesivo e innecesario movimiento de materiales
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Demoras en el transporte de materiales
Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón(2020)	Escasez de equipo/JIT
Sundquist et al.,(2017)	mucho movimiento de materiales manual
Gómez y Morales (2016), Emuze, Smallwood y Han (2014)	Ocio y desplazamiento por traslado de materiales
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Pérdidas, daños y desperdicios de materiales en sitio

Tabla A.3.9. Problemas asociados a la comunicación
Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Hickson y Ellis (2014), Hasan, Baroudi, Elmualim, y Rameezdeen, (2018), Dixit et al., (2019), Emuze, Smallwood y Han, (2014), Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón (2020)	Problemas de comunicación que causan esperas y falta de coordinación
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Espera por instrucciones o información
Campaña (2019), Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Manejo inadecuado de la información

Tabla A.3.10. Problemas asociados en actividades de verificación, seguimiento y acciones correctivas
Fuente: Elaboración propia

Autor	Problema
Hickson y Ellis (2014), (Dixit et al., 2019),Emuze, Smallwood y Han, (2014), Campaña (2019), Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón(2020)	Pobre o inadecuada programación, coordinación y/o control del proceso de abastecimiento

Bertelsen y Nielsen (1997)	No hay retroalimentación de los errores
Hickson y Ellis (2014) Hasan, Baroudi, Elmualim, y Rameezdeen, (2018) Tunji-Olayeni, Afolabi, Eshofonie, y Ayim, (2018) Emuze, Smallwood y Han, (2014) Gómez, Salazar, Ponz y Alarcón(2020)	Problemas debidos a factores externos a la planificación logística, cómo la pobre planificación y control de las actividades de obra.
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Ausencia de cooperación entre trabajadores
Emuze, Smallwood y Han, (2014)	Baja moral y pobre motivación en los equipos de trabajo
Tetik, Peltokorpi, Seppänen, Viitanen, y Lehtovaara (2019)	Variaciones externas que perturban la producción

A.4. Matriz de caracterización general

Tabla A.4.1. Matriz de caracterización general
Fuente: Elaboración propia

Nombre del proceso	Abastecimiento al punto de Producción		Responsable	Director de obra	
Objetivo del proceso	Proporcionar y mantener el flujo ininterrumpido de suministros necesarios en todos los frentes de producción de manera eficiente y eficaz		Alcance	Este proceso inicia desde la planificación de los suministros necesarios hasta su colocación en el punto de producción.	
proveedor	Entradas	Operación	Responsable	Salidas	Cientes
* Gerencia * Planeación y control * Presupuestos	* Políticas institucionales * Cronograma de obra * Diseños arquitectónicos y estructurales * Diseños de redes e instalaciones * Planos generales * EDT * Levantamiento topográfico * Rutas de acceso * Presupuesto * Cronograma de obra	Planificación de la logística	Planificación y control	* Plan logístico * Equipo de logística * Layout de obra * Planos de instalaciones * responsabilidades e indicadores * Lista de materiales con sus especificaciones * Plan de compras materiales críticos * Decisión sobre Contrato o compra de equipos	* Director de obra * Residente de obra * Planeación y control * contratistas * Residente * Compras * Proveedores * Equipos
* Planeación y control * Presupuestos * Almacenes de obra * Residentes de obra	* Presupuesto * Cronograma de obra * Programación de obra * Requisición de compras	Realización de compras	Área de Compras	* Registro de proveedores * Orden de compra * Calificación de compras * Calificación de proveedores	* Planificación y control * Director de obra * Residente * Compras * Almacén * Proveedores * Equipos
* Residente de obra * Director de obra * Contratistas * Proveedores * Compras	* Cronograma de obra * Diseños * Layout de obra * Ofertas logísticas * Rotación de inventario permitida	Requisición de materiales	Área de almacenamiento/área de producción	*Requisición de materiales	* Compras * Proveedores

*Proveedores *Compras *Residente de obra	*Requisición de materiales *Orden de compra *Especificaciones del material *Materiales *Facturas	Recepción de materiales	Área de almacenamiento	* Ingreso de materiales a inventario	*Almacén *Compras *Residente de obra
*Gerencia *Compras *Proveedores	*Materiales *Especificaciones y recomendaciones del fabricante *Layout de obra *Políticas de almacenamiento de la empresa	Almacenamiento	Área de almacenamiento	*Inventario actualizado	*Almacén *Residente de obra *Director de obra
*Residente de obra *Contratistas	*información sobre necesidades	Solicitud de materiales	Área de producción	*Vales autorizados	*Almacén *Residente de obra
*Almacén *Residente de obra *Contratistas	*Vale autorizado *Inventario	Realización de entregas	Área de almacenamiento	*Entrega de material *Salida de material del inventario	*Contratistas *Almacén *Residente de obra
*Almacén *Contratistas	*Vale autorizado *Materiales	Distribución	Área de producción	*Materiales puestos en sitio	*Contratistas
*Contratistas *Compras *Almacén	*información *Indicadores	Verificación, seguimiento y acciones correctivas	Compras/almacén	*Indicadores *informes *Planes de acción	*Gerencia *Director de obra *Compras
Recursos	Humano: Gerente, equipo de planificación y control, presupuestos, compras, director de obra, residente, equipos, contratistas, patieros, clientes. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Layout de obra, presupuesto, Cronograma de obra, planos generales, especificaciones técnicas, formatos de evaluación a proveedores, órdenes de compra, Kardex, vale.	
Indicadores de gestión	*Evaluación de tiempo de elaboración de usuarios con el orden de gestión de proveedores de compra *Evaluación de satisfacción de los usuarios con el proceso de gestión de compras *Rotación de inventario				

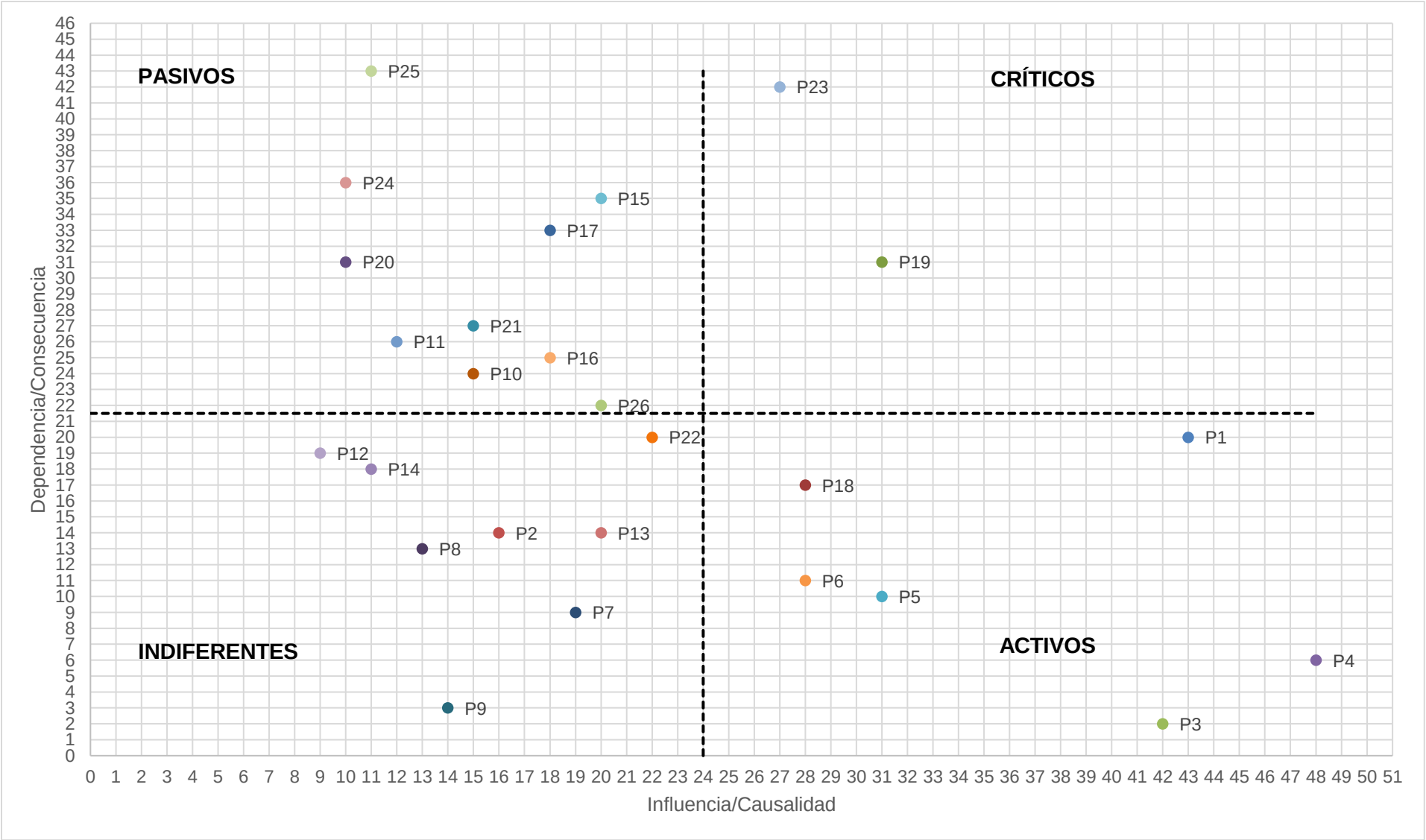
A.5. Matriz de Vester

Se crea una matriz en la cual se evalúa la influencia que cada problema tiene sobre los demás, dándole una calificación de 0 a 3 donde, (0= nula, 1= baja influencia, 2= media influencia, 3= alta influencia), esto arroja un valor total de la fila que representa el grado de influencia que tiene sobre los demás y un valor total de cada columna que representa el grado de dependencia de todas las demás.

Matriz de Vester																												
Cod	Problema	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	INFLUENCIA
P1	Deficiencia en la planificación	0	2	0	2	1	3	2	3	0	0	2	2	3	3	1	3	3	3	1	2	2	0	1	2	1	1	43
P2	Débil integración entre los componentes de la cadena de suministro	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1	1	1	0	2	1	1	0	1	0	1	0	16
P3	Falta de habilidades de programación y control del área logística	3	2	0	2	2	0	1	1	0	1	2	2	1	1	2	2	3	2	1	2	3	1	3	2	2	1	42
P4	Ausencia del área de logística y falta de procesos definidos	3	1	2	0	3	1	1	3	0	2	2	3	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2	48
P5	Pobre coordinación entre los miembros del equipo de planeación	3	2	0	0	0	2	1	0	0	1	1	1	1	0	2	2	2	2	2	2	2	0	2	1	1	1	31
P6	Inexactitud en el presupuesto de compras	2	0	0	0	1	0	2	0	0	3	1	2	0	0	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	28
P7	Incapacidad para pronosticar acertadamente los periodos de las actividades	2	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	2	0	2	2	1	3	0	1	0	1	0	19
P8	Falta de procesos de selección de proveedores definidos	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	1	1	0	1	13
P9	Baja diversidad de proveedores	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	2	1	0	1	1	14

P10	Errores en las órdenes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	2	1	0	1	0	2	0	0	1	2	0	1	1	15
P11	Retraso en la aprobación de materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	2	1	2	1	0	12
P12	Retraso en la requisición de materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	9
P13	Procesos de carga/descarga no definidos	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	1	1	3	0	2	1	1	3	1	20
P14	Inadecuada verificación de especificaciones y calidad de material	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	2	0	0	2	0	2	0	11
P15	Pobre gestión de materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	0	0	3	0	2	0	2	0	2	1	3	2	20
P16	Exceso de materiales en sitio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3	0	1	1	0	0	2	2	3	3	18
P17	Inadecuada ubicación de materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	1	0	0	2	0	0	0	3	2	3	3	18
P18	Programación inexistente o ineficiente de los vales	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	0	0	1	2	1	0	3	2	1	1	2	1	1	2	28
P19	Falta de información precisa	1	2	0	0	1	2	1	1	0	3	2	2	1	2	2	2	1	1	0	2	1	1	1	1	1	0	31
P20	Espera por equipos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	2	2	2	0	10
P21	Falta de programación de entregas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	3	0	2	2	3	1	0	15
P22	Falta estandarizar procesos	1	0	0	1	1	0	1	2	0	1	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	0	1	2	3	0	22
P23	Gestión logística ineficiente	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	2	3	2	27
P24	Métodos de distribución ineficientes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	3	1	0	0	0	3	0	10
P25	Mucho movimiento de materiales manual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	1	1	2	3	0	0	11
P26	Interferencia y congestión causado por exceso de materiales y basura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	2	1	2	1	3	3	2	0	20
DEPENDENCIA		20	14	2	6	10	11	9	13	3	24	26	19	14	18	35	25	33	17	31	31	27	20	42	36	43	22	

Con los valores medios de influencia y dependencia, se elabora un plano cartesiano, donde las x equivalen a la influencia y las y equivalen a la dependencia, de acuerdo con los valores (x,y) correspondientes a cada problema, estos también se ubican dentro del plano.



De acuerdo a la ubicación de cada problema en el plano, se clasifican como activos, críticos, pasivos e indiferentes.

Los problemas indiferentes tienen baja influencia/causalidad y baja dependencia/consecuencia, por lo que se consideran de baja prioridad dentro de los problemas analizados.

Los problemas pasivos tienen baja influencia/causalidad y alta dependencia/consecuencia, lo que indica que dependen de otros problemas (activos) y que al solucionar esos, los pasivos deben ser solucionados.

Los problemas críticos tienen valores de influencia y dependencia altos, lo que indica que son problemas causados por otros pero también generan bastante causalidad, por tanto requieren atención especial.

Los problemas activos, tienen altos valores de influencia/causalidad y baja dependencia/consecuencia, lo que indica que estos problemas no son causados por otros, pero si influyen mucho en los demás, por tal razón se deben priorizar ya que se consideran la causa principal de la situación problemática y por tanto son los más estratégicos.

A.6. Matriz de caracterización de las operaciones de planificación de logística y materiales

Tabla A.6.1. Matriz de caracterización del proceso de Planificación de la logística.

Fuente: Elaboración propia.

Nombre del proceso	Planificación de la logística		Responsable	Planificación y control	
Objetivo del proceso	Diseñar un plan de soporte para la ejecución que permita el desarrollo de las actividades constructivas del proyecto		Alcance	Este proceso inicia con el análisis de la información del proyecto, elabora el diseño de sitio, planifica los recursos y la logística necesaria para la ejecución de la obra y define el sistema de control que se usará.	
proveedor	Entradas	Subproceso	Salidas		Cientes
* Gerencia * Planeación y control	* Políticas institucionales *Cronograma de obra *Diseños arquitectónicos y estructurales *Diseños de redes e instalaciones * Planos generales * EDT * Levantamiento topográfico * Rutas de acceso	* Analizar cómo se desarrollará la ejecución del proyecto. * Planear el suministro de concreto, tomar decisión sobre compra o producción, ubicación, transporte. * Planificar el sistema de construcción, uso de formaletas *planear obras preliminares y su ubicación; campamentos, oficinas, almacén, instalaciones provisionales.	*Diseño de layout de obra *Equipo de logística * Presupuesto de actividades * Cantidad de formaletas a usar * Decisión de equipos a usar en transporte horizontal y vertical. * Movimiento de equipos como torre grúa, malacate, hasta cubrir todo el espacio del proyecto.		* Director de obra * Residente de obra *Planeación y control * contratistas
Recursos	Humano: Gerente, equipo de planificación y control, presupuestos, compras, director de obra, residente, equipos, contratistas y clientes. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Layout de obra, presupuesto, cronograma, planos generales.	
Indicadores de gestión	*Curva de avance	Observaciones: La planeación detallada del sitio, del suministro de materiales y su logística, la complementan en la obra, el director y el residente, quienes organizan el espacio de acuerdo con el desarrollo del proyecto, la programación de obra y el esquema general del layout con el que se cuenta.			

Tabla A.6.2. Matriz de caracterización del proceso de Planificación de los materiales
Fuente: Elaboración propia.

Nombre del proceso	Planificación de los materiales		Responsable	Planificación y control	
Objetivo del proceso	Diseñar un plan de abastecimiento de los materiales necesarios, especificando cantidades, requerimientos y aclaraciones técnicas.		Alcance	En este proceso se planifican los recursos necesarios de acuerdo con las cantidades definidas en el presupuesto y la logística necesaria para la ejecución de la obra.	
proveedor	Entradas	Subproceso	Salidas		Cientes
* Planeación y control * Presupuestos	*Presupuesto *Cronograma *Programación de obra *Layout	* planear compras de materiales críticos(concreto y aceros) * Definir sistema de adquisición de concreto * Crear requerimientos de materiales * Elegir y coordinar los equipos necesarios	*Lista de materiales con sus especificaciones *Plan de compras materiales críticos *Requerimientos de materiales * Contrato o compra de equipos		* Planificación y control *Director de obra * Residente *Compras *Proveedores * Equipos
Recursos	Humano: Gerente, equipo de planificación y control, presupuestos, compras, director de obra, residente, equipos, contratistas y clientes. Infraestructura: computadores, oficinas, sistemas de información, equipos, software.		Documentos asociados	Layout de obra, presupuesto, cronograma, planos generales, especificaciones técnicas.	
Indicadores de gestión	*Curva de avance	Observaciones: La planeación detallada del suministro de materiales, la complementan en la obra, el director y el residente, quienes realizan el cálculo de cantidades, lo comparan con el presupuesto y generan los requerimientos del material de acuerdo con el desarrollo del proyecto, la programación de obra y el espacio de almacenamiento con el que se cuenta.			